



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMATICAS

**“Algoritmo Matemático Para La Resolución De Un Job Shop
Scheduling Problem En El Área De Plan & Track De Carga De Un
Centro De Distribución “**

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniería en Logística y Transporte

Presentado por:

Rios Vivanco Leslie Dayana

Llanos Suarez Randy Jeremy

Guayaquil – Ecuador

Año: 2023

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL	0
1.1 Definición y descripción del problema.....	0
1.2 Justificación del problema.....	0
1.3 Alcance del proyecto	1
1.4 Objetivos	2
1.4.1 <i>Objetivo General</i>	2
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
1.5 Marco teórico.....	2
1.5.1 <i>Antecedentes</i>	2
1.5.2 <i>Marco conceptual</i>	5
1.5.3 <i>Base teórica</i>	7
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA	11
2.1 Técnicas de investigación.....	11
2.1.1 <i>Levantamiento de información</i>	11
2.1.2 <i>Recopilación de los datos</i>	14
2.2 Análisis de la información levantada: Situación actual	21
2.3 Descripción de los modelos	22
2.3.1 <i>Supuestos y limitaciones</i>	22
2.3.2 <i>Formulación del problema de Job Shop Scheduling Problem</i>	23
2.4 Uso de softwares.....	25
2.4.1 <i>Microsoft Excel</i>	25
2.4.2 <i>Wolfram Mathematica</i>	25
2.4.3 <i>Consideraciones Éticas y Legales</i>	26
2.5 Fases del proyecto	26
2.6 Cronograma de trabajo	28
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	30
3.1 Gestión de la base de datos	30
3.2 Resultado de la implementación del algoritmo matemático	31
3.2.1 <i>Wolfram Mathematica</i>	31

3.2.2	<i>Análisis de resultados</i>	40
3.2.3	<i>Análisis de costos asociados a la implementación</i>	49
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		54
4.1	Conclusiones	54
4.2	Recomendaciones	55
BIBLIOGRAFÍA		57

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1.1 <i>Ejemplo de diagrama de Gantt</i>	6
Figura 2.1 <i>Diagrama de flujo del proceso de carga de camiones</i>	13
Figura 2.2 <i>Captura de archivo MS Excel: “TIMELINES PROCESO DE CARGA DE FLOTA 2023”</i>	16
Figura 2.3 <i>Captura de archivo MS Excel: “01. ARCHIVO DE PLANIFICACIÓN”</i>	18
Figura 2.4 <i>Captura de archivo MS Excel: “Tiempos de viaje”</i>	19
Figura 2.5 <i>Captura de archivo MS Excel: “Base LT23 tiempos de preparación”</i>	27
Figura 2.6 <i>Fases del proyecto</i>	29
Figura 2.7 <i>Cronograma de actividades desarrolladas</i>	31
Figura 3.1 <i>Plantilla de input en MS Excel al algoritmo</i>	32
Figura 3.2 <i>Captura de la información importada de Excel en Wolfram</i>	34
Figura 3.3 <i>Captura de la información tratada de Excel en Wolfram</i>	36
Figura 3.4 <i>Fragmento del resultado de la pequeña instancia mostrada en la figura 3.1</i>	37
Figura 3.5 <i>Captura del resultado en forma de diagrama de Gantt del día 1</i>	37
Figura 3.6 <i>Leyenda de la figura 3.5.</i>	38
Figura 3.7 <i>Fragmento de la reportería de andenes utilizados</i>	39
Figura 3.8 <i>Fragmento de la reportería de placas atendidas</i>	41
Figura 3.9 <i>Diagrama de Gantt resultante del día 2</i>	42
Figura 3.10 <i>Leyenda del diagrama de Gantt del día 2</i>	43
Figura 3.11 <i>Diagrama de Gantt resultante del día 3</i>	44
Figura 3.12 <i>Leyenda del diagrama de Gantt del día 3</i>	46
Figura 3.13 <i>Tabla resumen de tiempos de espera de 8 instancias</i>	48
Figura 3.14 <i>Tabla comparativa real vs algoritmo matemático</i>	51
Figura 3.15 <i>Tabla de desfases observados por placa</i>	52
Figura 3.16 <i>Tabla de costos por hora diurna y nocturna del persona</i>	52

Figura 3.17 <i>Tabla de horas empleadas en el proceso de asignación</i>	52
Figura 3.18 <i>Tabla de costos totales por horas empleadas en el proceso de asignación</i>	52
Figura 3.19 <i>Flujo de costo mensual</i>	52

Dedicatoria

A mis padres, Roxana y Xavier, y a mis queridos hermanos, les dedico este trabajo con amor y agradecimiento. Su apoyo constante y vínculo familiar han sido mi roca en este viaje académico.

A través de cada desafío, su aliento y amor incondicional han sido mi fuerza. Este logro no solo es mío, sino también un reflejo del amor y unidad que compartimos como familia.

Con gratitud y cariño,

Jeremy Llanos

Dedico este trabajo a Dios y a la Virgen por ser mi guía y fortaleza a lo largo de este arduo camino académico.

A mis queridos padres, Leslie y Rolando, les dedico este logro con todo mi corazón. Su amor, sacrificio y apoyo incondicional han sido mi mayor motivación. Gracias por ser mis pilares, por alentarme en cada paso y por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación. Este éxito es tan suyo como mío.

Leslie Ríos

Agradecimientos

Mis sinceros agradecimientos a todos los maestros de la carrera que contribuyeron a mi formación académica. A mi compañera y amiga de confianza Leslie, por ser el pilar fundamental en el proceso del desarrollo del presente proyecto.

Jeremy Llanos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi querido esposo, Alfredo. Su amor constante ha sido mi motivación. Agradezco sus palabras de aliento, comprensión y la inquebrantable confianza que siempre ha depositado en mí.

Un agradecimiento especial a mi compañero de tesis y amigo de confianza, Jeremy. Su colaboración y amistad han sido invaluable. Juntos hemos superado desafíos y celebrados éxitos.

Este logro es nuestro.

Leslie Ríos

Declaración expresa

Nosotros Leslie Dayana Rios Vivanco y Jeremy Randy Llanos Suárez acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 14 de marzo del 2024.



Jeremy Llanos S.

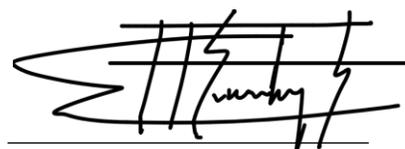


Leslie Ríos V.

Evaluadores

Mgtr. Carlos Ronquillo F.

Profesor de la materia

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Fernando Sandoya', is written over a horizontal line. The signature is stylized with several vertical strokes and a large, sweeping flourish on the left side.

Dr. Fernando Sandoya

Tutor del proyecto

Resumen

En la cadena de suministro, la eficiencia en la carga de los camiones es esencial para la satisfacción del cliente y la optimización de recursos, pero a menudo se ve obstaculizada por decisiones empíricas que aumentan la ineficiencia operativa y los tiempos de espera. Por tanto, el objetivo de este proyecto investigativo es mejorar la planificación de carga de camiones implementando un algoritmo matemático que permita una asignación eficiente de recursos para mejorar la eficiencia operativa, reducir tiempos en la operación y costos logísticos. Para desarrollar este proyecto se utilizaron herramientas de investigación relacionadas con la empatía al cliente para entender profundamente el contexto del problema. A partir de ahí se analizó la data recopilada de la operación para considerar parámetros necesarios dentro del algoritmo desarrollado, este algoritmo es una heurística glotona de búsqueda que resuelve un problema de JSSP centrado a un contexto de planificación de la carga y distribución de esta. Este enfoque heurístico mejora la planificación de la carga con un detallado cronograma de vehículos, observándose una reducción de tiempos de espera y errores en la asignación. El uso de este algoritmo permite optimizar el uso de andenes y la asignación de vehículos alienados para priorizar clientes de la automatización del proceso, resultando en una mayor productividad y fomentando la innovación en la infraestructura industrial.

Palabras clave: JSSP, heurística, optimización, planificación

Abstract

In the supply chain, efficiency in truck loading is essential for customer satisfaction and resource optimization. However, it is often hindered by empirical decisions that increase operational inefficiency and waiting times. Therefore, the aim of this research project is to enhance truck loading planning by implementing a mathematical algorithm that enables efficient resource allocation to improve operational efficiency, reduce operation times, and logistic costs. For the development of this project, research tools related to customer empathy were employed to deeply understand the problem context. Subsequently, the collected operational data was analyzed to consider the necessary parameters within the developed algorithm. This algorithm is a greedy search heuristic that addresses a Job Shop Scheduling Problem (JSSP) within the context of load planning and distribution. This heuristic approach improves load planning through a detailed vehicle schedule, resulting in reduced waiting times and allocation errors. The use of this algorithm allows for the optimization of dock usage, as well as the alignment of vehicle assignments with customer prioritization objectives, resulting in increased productivity and fostering innovation in industrial infrastructure.

Keywords: *JSSP, heuristics, optimization, planning*

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL

1.1 Definición y descripción del problema

En la cadena de suministro, la eficiencia en la entrega de productos es fundamental en la satisfacción del cliente y optimización de los recursos operativos. En el contexto específico de organizaciones dedicadas a la industria de alimentos y bebidas, que transportan con operadores logísticos externos, el buen funcionamiento de esta subcontratación es muy importante. No obstante, es común encontrar la predominancia del empirismo para tomar decisiones en los procesos operativos diarios, que contribuyen a aumentar la ineficiencia en la productividad en áreas fundamentales de la organización.

Esta creciente problemática demanda una atención detallada y un análisis exhaustivo debido al incremento significativo de los costos en la operación de transporte. Este aumento se atribuye directamente a la prolongación de los tiempos muertos e ineficiencia operativa, que es ocasionada por el proceso manual de asignación de andenes.

Esta circunstancia representa no solo una repercusión financiera significativa para la organización, sino que también pone en riesgo su reputación y capacidad competitiva en el ámbito del mercado. Este escenario plantea desafíos que abarcan aspectos económicos y estratégicos, los cuales son cruciales para la sostenibilidad a largo plazo y la posición de la empresa en el entorno comercial competitivo.

1.2 Justificación del problema

La presente investigación se fundamenta en mejorar la productividad dentro del área de distribución en el contexto de la urgente necesidad de abordar los desafíos complejos que

enfrenta la industria de alimentos y bebida, asimismo, la variabilidad en la demanda de productos alimenticios y bebidas han creado un entorno empresarial altamente competitivo y dinámico.

Tomando en cuenta estos aspectos, la gestión efectiva de los tiempos de carga de camiones se ha vuelto esencial para garantizar la puntualidad en las entregas, optimizar los recursos y mantener la satisfacción del cliente.

Los métodos empíricos de asignación de recursos no son flexibles a los cambios constantes en las necesidades del mercado, lo que conlleva a tiempos de inactividad innecesarios y al aumento de costos operativos. Por ello la introducción de un algoritmo matemático de asignación de andenes, considerando tiempos de preparación de carga y de estiba, se presenta como una solución innovadora y prometedora para este tipo de problemáticas. Este enfoque permitirá a la empresa adaptarse a las fluctuaciones en la demanda, además de optimizar la asignación de recursos y reducir los tiempos inactivos, lo que mejora significativamente la eficiencia operativa y la reducción de los costos asociados.

Al encontrar la solución a este problema aportaría en el cumplimiento del ODS número 9: "Industria, Innovación e Infraestructura", el cual busca mejorar la eficiencia de la infraestructura y la logística, lo que a su vez contribuye a reducir costos operativos y promover prácticas comerciales sostenibles en la compañía, que se complementa como parte de la filosofía de la organización en la creación de valor compartido.

1.3 Alcance del proyecto

En este proyecto de investigación se analizarán los procesos actuales de carga de productos dentro del centro de distribución que provocan el aumento de los costos operativos. Posteriormente, se menciona que el alcance del proyecto abarcará la implementación de un

algoritmo matemático de asignación que asegure la eficiencia de los procesos de planificación y el cumplimiento de un óptimo nivel de servicio.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General:

Mejorar la planificación de carga de camiones implementando un algoritmo matemático que permita una asignación eficiente de recursos para mejorar la eficiencia operativa y reducir costos logísticos.

1.4.2 Objetivos específicos:

- Reducir el tiempo de espera de los camiones a través de la asignación óptima previa de la flota a los andenes de carga para aumentar la productividad dentro del área de distribución.
- Optimizar el uso de los recursos de estiba y andenes mediante la asignación de tiempos de llegada para mejorar la eficiencia operativa.
- Reducir el tiempo empleado por el personal de planificación y monitoreo para realizar la tarea de asignación de camiones y andenes.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Antecedentes

En el dinámico mundo organizacional específicamente en la industria de alimentos, la eficiencia en los procesos logísticos de las empresas es un factor crucial para mantener la competitividad y satisfacer las crecientes demandas del mercado. Uno de los desafíos más significativos en este contexto es la gestión efectiva de la carga de camiones, una operación

fundamental que influye directamente en la cadena de suministro, el costo operativo y, por ende, en la rentabilidad de las empresas. La optimización de estos procesos no solo implica el manejo eficiente de recursos dentro del proceso de carga, sino también en su tiempo de preparación, separación y cuadro, considerando variables complejas como la demanda fluctuante, las restricciones de tiempo, estibadores y espacio, así como las particularidades de los productos alimenticios.

En este contexto, el proyecto investigativo se sumerge en el campo de la asignación óptima aplicada a la carga de camiones en la industria de alimentos y bebidas. A través de un enfoque multidisciplinario que combina técnicas avanzadas de análisis y modelamiento, y logística, esta investigación tiene como objetivo desarrollar un algoritmo matemático preciso y eficiente basado en la teoría de proyectos de calendarización implementado en ámbitos de producción. Estos modelos no solo ayudarán a anticipar las necesidades de carga, sino que también permitirán una asignación óptima de la flota como recurso logístico, y una planificación estratégica más efectiva.

La industria de alimentos se enfrenta a desafíos significativos en términos de eficiencia logística, especialmente en los procesos de carga de camiones. Este estudio propone un enfoque innovador basado en modelos de calendarización, para la asignación y optimización de dichas operaciones logísticas. Este proyecto investiga cómo se pueden aplicar métodos de calendarización para anticipar las necesidades de carga y facilitar una asignación eficiente de los andenes utilizados en la carga de mercancías en vehículos de transporte.

Para el desarrollo del proyecto de investigación se consideran como referencia los principales artículos investigativos relacionados con el desarrollo de modelos en sistemas de producción de calendarización, aunque la actividad del proyecto es diferente al ámbito

productivo, se puede adaptar a la parte de distribución, también se considera un trabajo investigativo basado en la programación integrada de camiones y personal.

El proyecto investigativo está centrado en la mejora operativa para una empresa dedicada a la comercialización de alimentos y bebidas, con este algoritmo se busca mejorar la capacidad operativa reduciendo los tiempos empleados en la asignación de andenes mediante un cronograma que permita una observación holística del proceso y anticipar la solicitud de camiones durante el día para evitar los tiempos muertos de espera en el centro de distribución, lo que aumentara el nivel de servicio del cliente.

En la adaptación de la teoría de calendarización a un entorno de distribución, se considera esencial que la concepción de las máquinas y los trabajos se refleje directamente en los andenes disponibles asignados para la carga de mercancías y el subsiguiente proceso de despacho. En este contexto, la notación de “máquinas” en el algoritmo se refiere a los andenes, ya que son los espacios donde se lleva a cabo la operación de carga de mercancías en el área de distribución. Por otro lado, los “trabajos” están intrínsecamente ligados al proceso de carga de productos, asignados a los estibadores en uno o más andenes correspondientes a un cliente o a un consolidado de clientes en un camión. Los andenes son limitados en número y designados para cargar camiones dentro del centro de distribución, mientras que los trabajos representan las diversas cargas de camiones que se efectuarán durante el día para abastecer a los clientes. En la investigación referencia se considera también el modelamiento matemático de asignación en un ámbito de distribución por otros modos de transporte, en esencia es similar el objetivo analizado en el mismo. (Tadumadze et al., 2019)

En el tercer artículo referenciado se toma la idea de presentar la información de soluciones óptimas o subóptimas mediante el uso de diagramas de Gantt que aborden las actividades

desarrolladas dentro de la programación adaptada de la calendarización. (Sirolla & Henning, 2020)

1.5.2 Marco conceptual

1.5.2.1 Problemas de calendarización.

Morelos en 1994 construye la siguiente definición general para un problema de calendarización: "...dado un conjunto de procesos a realizar, los cuales pueden o no estar interrelacionados, y dado un conjunto de facilidades que tienen capacidad de ejecutar esos procesos, el problema de Calendarización consiste en definir una secuencia de pares (proceso, facilidad), donde la facilidad lleva a cabo el mencionado proceso y la secuencia en su totalidad, completa el conjunto inicial de procesos a realizar. Todo ello sujeto a una o más funciones objetivo y a las restricciones propias de las facilidades en cuanto a tiempos y capacidades, así como a las restricciones en cuanto al orden en que puedan o no ejecutarse los procesos." (p.1)

Además, dentro del mismo estudio Morelos (1994) plantea las siguientes características principales: "Existe un gran número de trabajos de investigación que han planteado posibles enfoques y estrategias en la solución de este problema, la mayoría de ellos en el ambiente de sistemas de planeación para la producción. Es decir, se toman como facilidades el conjunto de máquinas y equipos con que se dispone y los procesos a cumplir consisten en los planes de producción, que son todas las tareas (acciones o *tasks*) que se tienen que llevar a cabo para completar un conjunto de trabajos *Jobs*). Ello sujeto a las restricciones de cierta función o funciones objetivo-perseguidas por la empresa, más las restricciones inherentes a capacidad de trabajo de las máquinas, tiempos en la ejecución de las tareas y evidentemente las restricciones en cuanto a las secuencias de tareas válidas (restricciones de precedencia) en la elaboración de una cierta pieza." (p. 1)

1.5.2.2 Makespan.

El *makespan* se define como un criterio regular representado normalmente por la notación “ C_{max} ” dado que consiste en minimizar el tiempo máximo de finalización de todos los pedidos. (Sandoya, 2022)

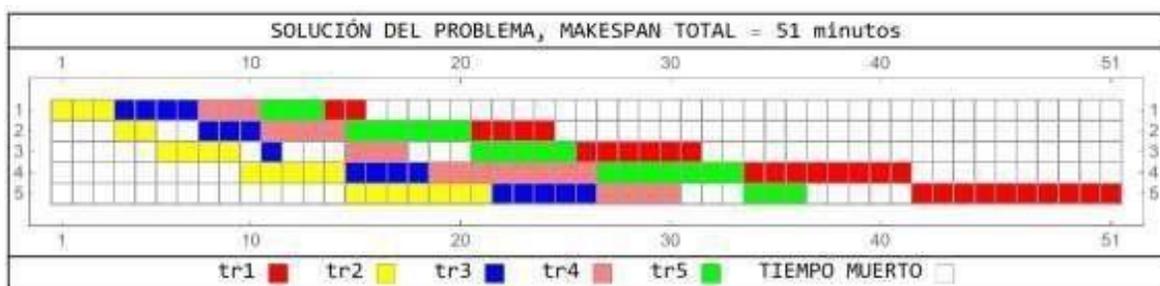
1.5.2.3 Diagrama de Gantt.

Según Geraldini & Lechler (2012), el diagrama de Gantt “es una representación visual simple, intuitiva, práctica y útil de las actividades y duraciones del proyecto”.

Esta herramienta otorga una vista completa de las tareas programadas dentro de un proyecto, mostrando información relevante como: Fecha de inicio y de cierre del proyecto, cantidad de tareas en el proyecto y sus responsables, estimación de cuánto tiempo tardará cada tarea y el progreso de cada etapa del proyecto. Un ejemplo aplicado al contexto del proyecto sería el mostrado en la *figura 1*,

Figura 1.1

Ejemplo de diagrama de Gantt



Nota. Tomado de libro de *Metaheurísticas.*, (p. 108), por F. Sandoya.

1.5.2.4 Tiempos muertos.

Gómez en 1998 aborda la definición de los tiempos muertos como los que no se invierten directamente en actividades principales de producción, como paros de trabajo, tareas burocráticas y tiempos de espera por falta de personal, por falta de útiles o herramientas o por falta de los recambios necesarios.

1.5.2.5 Tiempos de preparación o Setup.

Bajo un contexto en un problema de calendarización para el área de producción, los tiempos de preparación o *setup* son tiempos que hacen referencia, como su nombre lo indica, a la preparación de una máquina en donde se haya realizado un trabajo previamente para poder atender al nuevo trabajo.

1.5.2.6 Centro de distribución.

Según Frazelle en 2022, un centro de distribución puede definirse como el lugar donde una o varias empresas almacenan diferentes tipos de mercancías o materias primas, ya sean fabricadas por ellas o adquiridas a un tercero.

1.5.3 Base teórica

1.5.3.1 Algoritmos Matemáticos.

Un algoritmo matemático se define como un conjunto de operaciones secuenciales para llegar a una solución de un problema presentado. En otras palabras, un algoritmo matemático es una serie de procedimientos o instrucciones realizadas para llegar un resultado deseado.

1.5.3.2 Problemas de optimización.

En el lenguaje de las matemáticas la optimización se define como la búsqueda de la mejor solución posible referente a un problema.

“En un *problema de optimización* existen diferentes soluciones, que conforman el *conjunto de decisiones factibles*, y una función que mide la calidad de cada una de esas soluciones, denominada *función objetivo* o *criterio*, la cual nos permite discriminar entre ellas, obviamente la *meta* es encontrar la solución de mejor calidad, que se denomina la *solución óptima del problema*. De forma más precisa, un problema de optimización consiste en encontrar los valores que toman las *variables de decisión* para los que una determinada *función objetivo* alcanza su valor máximo o mínimo. El valor de las variables en ocasiones está sujeto a unas *restricciones*, que deben cumplirse de manera estricta (*dura*) o de manera *suave*.” (Sandoya, 2022)

1.5.3.3 Métodos heurísticos.

“Un método heurístico es un procedimiento simple, a menudo basado en el sentido común, que se supone ofrecerá una buena solución, aunque no necesariamente la óptima, a problemas difíciles, de un modo fácil y rápido.” (Sandoya, 2022)

1.5.3.4 Métodos Heurísticos Generales.

Hay muchas variedades de métodos heurísticos de diferente naturaleza, por lo que hay que mencionar el siguiente esquema que da unas categorías amplias y no excluyentes: Métodos Constructivos, Métodos de Descomposición y Métodos de Búsqueda Local.

Bajo el contexto del trabajo de investigación se resalta el uso de un *Método Constructivo* para la elaboración de una heurística, estos hacen referencia a procedimientos iterativos que en

cada paso añaden un elemento para completar la solución. Estos métodos se caracterizan por ser deterministas están basados en seleccionar, en cada iteración, el elemento con mejor evaluación. Estos métodos son muy dependientes del problema. (Sandoya, 2022)

1.5.3.5 Heurísticas Glotonas: Definición, Funcionamiento, Ventajas y Desventajas.

Las heurísticas glotonas, también conocidas como tácticas voraces, son algoritmos simples pero efectivos utilizados para resolver problemas de optimización combinatoria. Estos algoritmos implican tomar decisiones en un orden específico y han demostrado éxito en diversas aplicaciones, como asignación de recursos, ruteo de vehículos y planificación de proyectos. A pesar de su simplicidad, es esencial comprender su funcionamiento, fortalezas y limitaciones para aplicarlas de manera efectiva.

Su funcionamiento se da bajo los algoritmos secuenciales que se fundamentan en la premisa de tomar decisiones óptimas en cada paso, esperando que la acumulación de estas elecciones lleve a una solución global óptima. En cada fase, se elige la opción que maximiza o minimiza una función objetivo específica. Por ejemplo, en el problema de la mochila, donde se deben seleccionar objetos para colocar en una mochila de capacidad limitada, la táctica voraz elegiría el objeto con el mayor valor por unidad de peso en cada paso hasta que la capacidad de la mochila se alcance.

Estas heurísticas se destacan por su simplicidad y facilidad de implementación, siendo útiles para resolver problemas de optimización de tamaño moderado. A menudo generan soluciones de buena calidad en comparación con enfoques más complejos, aunque estos últimos podrían ser ligeramente mejores a un mayor costo computacional. Sin embargo, las heurísticas glotonas tienen limitaciones, ya que la elección óptima en cada paso no siempre conduce a la solución global óptima. (Sandoya, 2022)

1.5.3.6 El Job Shop Scheduling Problem.

El Job Shop Scheduling Problem (JSSP) es un desafío de planificación de tareas en máquinas, clasificado como NP-duro al igual que el FSSP. A diferencia del FSSP, en el JSSP no hay un orden fijo para las tareas en las máquinas, ya que cada tarea puede requerir diferentes máquinas en momentos variados. El objetivo principal es minimizar el tiempo total de producción, abordando variantes como el JSSP con restricciones de tiempo o tiempos de preparación. A pesar de su complejidad, resolver el JSSP implica encontrar la disposición óptima de tareas en máquinas para alcanzar la eficiencia deseada. (Sandoya, 2022)

Para el desarrollo de este proyecto investigativo se pretende resolver un problema JSSP, no ambientado en el área de producción sino en el área de planificación y trazabilidad de la carga, aplicando una heurística glotona que considere las restricciones presentadas para el contexto del problema.

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

2.1 Técnicas de investigación

Las fuentes de datos incluyen registros internos de la empresa, observaciones directas en el lugar de trabajo, y entrevistas con el personal involucrado en las operaciones de carga. Se diseñan herramientas específicas para la recolección de datos, estos se estructuran, recopilan y transmiten a partir de archivos compartidos en MS Excel entre coordinadores, supervisores y operarios. Durante la recopilación, se registra sistemáticamente la información, asegurando un almacenamiento organizado y un análisis preliminar para verificar la calidad y coherencia de los datos. Además, se presta especial atención al cumplimiento de las normativas de confidencialidad y ética, documentando detalladamente el proceso para garantizar la transparencia y la reproducibilidad del estudio.

2.1.1 *Levantamiento de información*

El levantamiento de información se estructuró a partir de herramientas de empatía con el usuario. Principalmente con el uso del mapa de empatía, mapa de actores y entrevistas cualitativas se destacó la información relevante para la construcción de la metodología de este proyecto.

Con las herramientas se identificó como objetivo principal y problema más recurrente, los tiempos muertos dentro del proceso de carga de vehículos a causa de factores como: disponibilidad de espacio en andén, disponibilidad de estibadores, diferencias de la información real de la operación con la planificación, disponibilidad de vehículos y variaciones en los tiempos de separación y cuadro de carga.

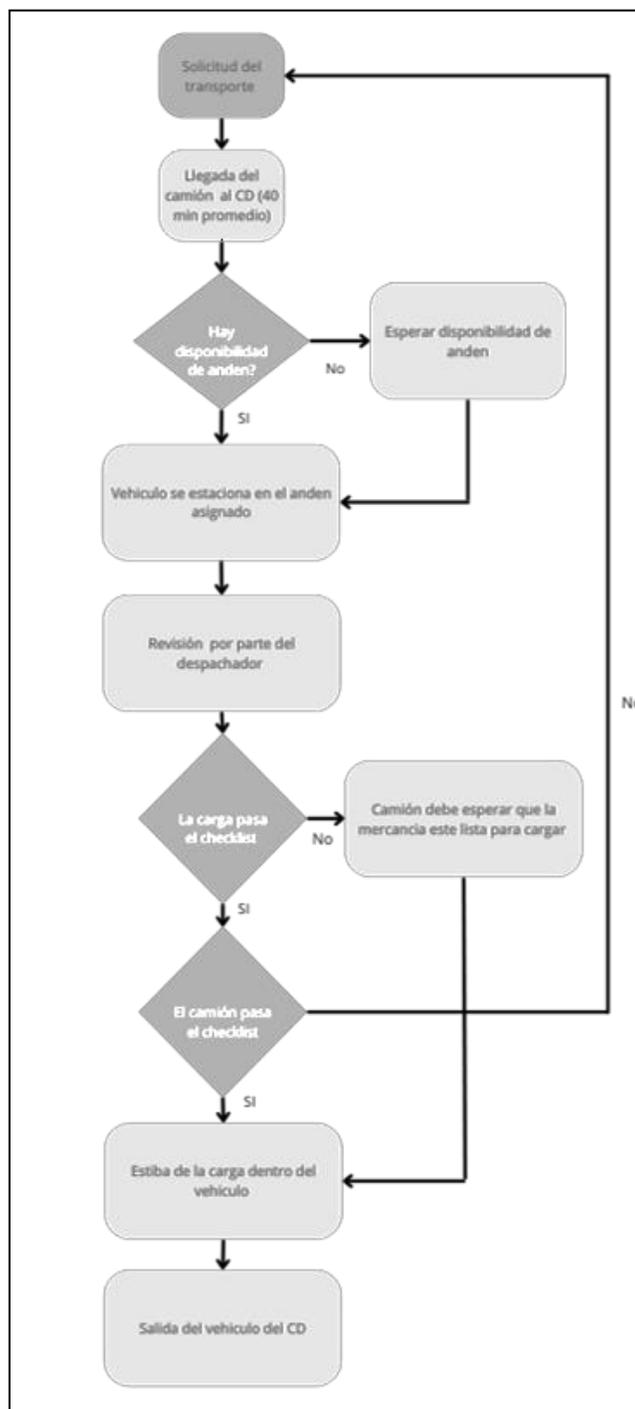
Se resaltó la urgencia de mejorar el proceso de planificación actual para la carga de productos, ya que se han presentado situaciones que han impactado negativamente en la

eficiencia de las operaciones de carga. Estas dificultades se atribuyen a la toma de decisiones empíricas que han estado guiando la gestión operativa hasta el presente. Esta metodología puede considerarse una limitación significativa en el contexto operativo.

A continuación, se presenta en la figura 2.1 el diagrama de flujo estructurado del proceso de despacho de los productos en el centro de distribución, a partir de la información y contextualización del problema.

Figura 2.1

Diagrama de flujo del proceso de carga de camiones



Nota. Este diagrama es de elaboración propia a partir de la información recopilada en las reuniones con la encargada de la operación.

2.1.2 *Recopilación de los datos*

Los datos fueron recopilados con un enfoque específico en el área de *picking*, planificación y monitoreo, dado que en esta sección es donde se lleva a cabo la asignación de tareas de manera empírica por parte del personal encargado. Esta observación en el proceso de asignación permitió una comprensión más profunda de las metodologías utilizadas y facilitó la identificación de oportunidades de mejora en las prácticas operativas existentes.

Posteriormente, se seleccionaron métricas clave como tiempos y disponibilidad. Centrándonos para los tiempos tenemos: tiempo de preparación y cuadro de la carga en el área de despacho, tiempo que tarda en llegar el camión a las instalaciones de la empresa desde que se lo solicita, tiempo que toma realizar la inspección del camión y empieza la carga, tiempo total de carga por camión, tiempo de ocupación de andenes. Por otro lado, para la disponibilidad tenemos dos puntos principales: disponibilidad de andenes y disponibilidad de estibadores. Desde esta disponibilidad se considera la necesidad de ocupación de recursos mencionados como la cantidad de estibadores y andenes requeridos por camión.

El recurso del personal disponible que tiene la organización para el proceso de despacho se rige mediante dos turnos:

- El primer turno inicia desde las 07:00 AM y culmina a las 04:00 PM.
- El segundo turno inicia desde las 04:00 PM y culmina a las 02:00 AM del siguiente día, que puede extenderse hasta la hora que sea necesaria para terminar lo planificado.

Cabe aclarar que la cantidad de estibadores disponibles para la operación de carga variará según el turno; en el primer turno hay 14 estibadores y en el segundo 18. Esta diferencia entre turnos ocurre debido al aumento de la operación en las horas nocturnas.

Además, el centro de distribución cuenta con 18 andenes designados para el despacho de productos, uno de estos andenes queda reservado para la descarga de RTM que es la mercadería que baja del CD (Centro de Distribución) Cayambe para hacer *cross docking*. En situaciones extraordinarias de la operación se pueden usar andenes del área de recepción si están disponibles.

En el estudio presente, la organización proveyó valiosos archivos en formato Excel para facilitar un entendimiento más profundo de las operaciones implicadas en el proceso de carga. El primer archivo, llamado "Timelines proceso de carga flota 2023", se entregó para este proyecto, ya que no es un registro que la organización maneja normalmente dentro de sus operaciones y destacó como fuente de datos esencial. Esta base de datos estaba compuesta por varios elementos clave, detallados a continuación, que proporcionaron una visión exhaustiva y estructurada de las operaciones logísticas de la flota durante el año en cuestión.

- Placa del camión
- Compañía dueña de la flota
- Nombre del transportista
- Tonelaje del vehículo
- Metraje del vehículo
- Tipo de unidad
- Ciudad a la que se dirige
- Cliente que atendió
- Prioridad del cliente
- Hora de solicitud de la unidad
- Hora de parqueo en las instalaciones de la compañía
- Tiempo de inicio de carga

- Tiempo de fin de carga
- Fecha

Figura 2.2

Captura de archivo MS Excel: “TIMELINES PROCESO DE CARGA DE FLOTA 2023”

PLACA	COMPAÑIA	TRANSPORTISTA	TO	N	TIPO UNIDAD	CIUDAD	CLIENTES	PRI	HORA SOLICITU	HORA PARQUE	INICIO DE CARG	FIN DE CARG	SALIDA FECH
GBN8070	SALMAN	JORGE GALARZA MUÑOZ	4,5	24,64	LIVIANO	QUITO	Corporacion Favo	1	15:15:00	16:00:00	15:55:00	16:26:00	
PA9621	TUPIZA Y GARCIA	CHRISTIAN LARA VALVERDE	12	40	GH	QUITO	DSD NAYON	1	11:30:00	12:30:00	12:35:00	13:50:00	
HBA6144	TRANSLOINSA	SALAZAR JOSE ALDO	7,5	38	FC	CUENCA	DSD CUENCA	2	16:38:00	19:00:00	20:25:00	22:19:00	
GBP2976	SALMAN	SEGUNDO LOJA NAULA	3,53	17,51	LIVIANO	MONTECRISTI	Tiendas Tuti Ttde	2	9:45:00	10:25:00			
PA89233	TRANSLOINSA	PEÑAFIEL JARAMILLO RAUL	12,65	51	GH	PORTOVIEJO	DSD PORTOVIEJO	2	19:05:00	19:40:00	20:25:00	22:19:00	
GBP3078	ABRILTRANS	ALFREDO SANDOVAL	18	70	TRAILER	GUAYAQUIL	Tiendas Tuti Ttde	3	9:27:00	10:25:00			
PA01103	TRANSLOINSA	DIEGO TOAPANTA	12	50	GH	GUAYAQUIL	Tiendas Tuti Ttde	3	9:45:00	10:19:00			
JAA4033	TRANSLOINSA	HERNAN RUIZ	12,5	51	GH	GUAYAQUIL	Tiendas Tuti Ttde	3	9:36:00	10:25:00			
PA87765	TUPIZA Y GARCIA	TORRES TORRES DANILO	12,65	45	GH	QUITO	PT NAYON	1	20:41:00	20:54:00	22:01:00	23:43:00	
PAC9190	TUPIZA Y GARCIA	MARIO CATUCCUAMBA QUISE	12	40	GH	QUITO	PT NAYON	1	21:00:00	21:21:00	22:05:00	23:41:00	
PA89579	TRANSLOINSA	OLIVER RAFAEL TORRES	12,2	50	GH	CUENCA	PT CUENCA	1	21:23:00	22:05:00	22:45:00	23:37:00	
PDE5603	SALMAN	JUAN CUVI RAMIREZ	2,9	13	LIVIANO	GUAYAQUIL	Mergama S.A. - At	3	21:50:00	22:24:00	23:10:00	23:37:00	
GBP5748	TUPIZA Y GARCIA	FIDEL CASTILLO	3,5	18	LIVIANO	ESMERALDAS	Coberservicios So	1	7:00:00	7:30:00	7:40:00	9:22:00	2/8/2023
GBP2701	SALMAN	LUIS TORRES CUZCO	5,5	28,06	LIVIANO	QUITO	Tiendas Industrial	1	7:00:00	7:30:00	7:15:00	10:10:00	2/8/2023
77G0835	TRANSLOINSA	KEVIN FARINANGO	10	42	GD	ESMERALDAS	Coberservicios So	1	9:40:00	10:40:00	10:50:00	12:30:00	2/8/2023
GBN9094	ECUAGARANTIA	CRISTIAN DARWIN CHAVEZ V	11,9	40	GH	QUITO	Equadis S.A.	1	9:40:00	10:20:00	10:25:00	12:50:00	2/8/2023
GBP3006	TUPIZA Y GARCIA	ROMEL BRAVO VERGARA	6	27,71	LIVIANO	QUITO	DSD ESPECIAL -DS	1	11:34:00	12:30:00	12:50:00	16:00:00	2/8/2023
BAA1447	SALMAN	JAIR MIRANDA ZAMBRANO	7,43	34,28	FC	GUAYAQUIL	Corporacion El Rc	3	15:00:00	16:24:00	17:15:00	17:23:00	2/9/2023
GSN7855	TUPIZA Y GARCIA	WELLINGTON ALVARADO Q	2,57	13	LIVIANO	GUAYAQUIL	PURINA CENTRO-	3	15:52:00	17:00:00	17:15:00	17:33:00	2/9/2023
PDY2682	SALMAN	RICARDO RODRIGUEZ	2,9	13	LIVIANO	GUAYAQUIL	PURINA DAULE	3	15:52:00	17:00:00	16:50:00	17:06:00	2/9/2023
GBP3855	SALMAN	JOSE AVILES ESPIN	2,9	12,7	LIVIANO	GUAYAQUIL	PURINA DURAN	3	15:52:00	16:40:00	18:30:00	18:55:00	2/9/2023
GBO3018	TUPIZA Y GARCIA	AGUSTIN PINARGOTE YEPEZ	2,9	9	LIVIANO	GUAYAQUIL	PURINA NORTE	3	15:57:00	17:40:00	18:15:00	18:54:00	2/9/2023
GSC7234	TUPIZA Y GARCIA	ANTONIO NAVAS	2,5	9	LIVIANO	GUAYAQUIL	PURINA SUR	3	15:57:00	16:40:00	17:45:00	18:54:00	2/9/2023
GBO2833	TUPIZA Y GARCIA	EDISON RIVAS	2,9	12	LIVIANO	EL GUABO-HU	Maria Karina Orel	2	15:59:00	17:05:00	17:20:00	18:18:00	2/9/2023
GBO2260	ECUAGARANTIA	JAIRO ANTONIO SORIANO P	2,9	13	LIVIANO	MACHALA	Atimasa S.A. -Cu	3	15:59:00	17:20:00	18:19:00	18:58:00	2/9/2023
GBP2367	SALMAN	JEAN GRANOBLE	5,5	28,52	LIVIANO	PORTOVIEJO	PT+DSD PORTOVI	2	16:01:00	17:05:00	21:08:00	1:34:00	2/9/2023
CAA1471	MEGASANTAMARIA	LUIS TRUJILLO	25	70	TRAILER	MEJIA	Mega Santamaria	1	17:45:00	17:55:00	18:25:00	20:41:00	2/8/2023
ABD2521	ECUAGARANTIA	EMILIO ZAMBRANO	18	70	TRAILER	QUEVEDO	Wilson David Quir	2	18:45:00	18:58:00	21:07:00	23:00:00	2/9/2023

Nota. Este archivo consta como una recopilación de datos levantados para el beneficio del análisis de este proyecto.

En el contexto del presente estudio, se realizó un análisis exhaustivo de los datos pertinentes, enfocándose en aspectos cruciales para la comprensión de la logística de carga dentro de la organización. En primer término, se evaluó la categoría de las unidades de transporte, clasificando los camiones según su tipo: Tráiler, Mediano y Liviano. Esta clasificación se fundamentó no solo en las características físicas de los vehículos, como el tonelaje y el metraje, sino también en su funcionalidad operativa.

Adicionalmente, se consideró la dimensión geográfica y comercial del servicio, analizando la ciudad destino y la identidad del cliente servido. Estos factores resultaron ser

determinantes en la asignación de prioridades a los clientes, revelando una estrategia logística orientada al servicio personalizado.

Otro aspecto crucial abordado fue la temporalidad asociada a la logística de transporte. Se registraron meticulosamente la hora de solicitud de la unidad y la hora de parqueo, proporcionando información valiosa sobre la eficiencia en la gestión y asignación de los vehículos. Estos datos ofrecieron una visión clara del tiempo de respuesta del equipo logístico ante las demandas operativas.

Asimismo, se cuantificaron los tiempos críticos del proceso de carga, incluyendo tanto el inicio como la finalización de este. El tiempo de inicio de carga reflejó el lapso entre la llegada del camión al andén y el comienzo efectivo de la carga, tras superar el proceso de inspección. Por otro lado, el fin de carga indicó que los vehículos estaban completamente cargados y listos para entregar al cliente.

En conjunto, estos datos proporcionaron una visión integral y detallada de los procesos logísticos de la organización, fundamentales para la comprensión de sus operaciones de transporte de mercancías.

El segundo archivo proporcionado por la organización, titulado "Archivo de Planificación", se caracteriza por su actualización diaria, constituyendo una herramienta indispensable para la planificación y el monitoreo de la carga por turno. En este archivo se registraban meticulosamente diversos elementos clave, los cuales se detallarán a continuación:

- Fecha
- Placa del camión
- Compañía dueña de la flota
- Transportista asignado

- Tonelaje del camión
- Metraje del camión
- Cliente
- Ciudad a la que se dirige
- Planificación de carga
- Delivery
- Pedido
- Tonelaje de la carga
- Volumen de la carga
- Punto de salida

Figura 2.3.

Captura de archivo MS Excel: "01. ARCHIVO DE PLANIFICACIÓN"

FECHA	PLACAS	COMPANIA	TRANSPORTISTA	T	A	CLIENTE	CIUDAD	ORDEN EN	CLIENTE	LANDECARGA	DELIVERY	PEDIDO	TON	VOLUMEN	PUNTODESALIDA
13/10/2023	PAB3773	TRANSLOINSA	KEVIN TORRES	7.4	38	Ramasandristi S.A.	TENA	NA	5144653	8029042320	8454944341	5465217478	4,312.13	23.53	CD GUAYAQUIL
10/10/2023	PAB3773	TRANSLOINSA	KEVIN TORRES	7.4	38	RAMASANDRISTI	NAPO	NA	POP	67417	67417	67417	0.80	0.80	CD GUAYAQUIL
13/10/2023	GBP5591	Ecuaagrimta	FRANKLIN BETANCOURT TORRES	5	28	Compañía Agrícola S.A. Ltda.	MARAYO	NA	6609741	8029042332	8457383832	5465293631	5,094.16	18.82	CD GUAYAQUIL
13/10/2023	PAC9370	TRANSLOINSA	VACA MANTILLA RODRIGO OSWAI	7.5	39	Tiendas Industriales Asociadas S.A.	GUAYAQUIL	NA	1387827	8029040199	8457771932	5465298835	2,883.76	6.81	CD GUAYAQUIL
13/10/2023	PAC9370	TRANSLOINSA	VACA MANTILLA RODRIGO OSWAI	7.5	39	Tiendas Industriales Asociadas S.A.	GUAYAQUIL	NA	1387827	8029040199	8457771931	5465294586	1,344.35	4.07	CD GUAYAQUIL
13/10/2023	PAC9370	TRANSLOINSA	VACA MANTILLA RODRIGO OSWAI	7.5	39	Tiendas Industriales Asociadas S.A.	GUAYAQUIL	NA	1387827	8029040199	8457771930	5465293625	69.84	0.44	CD GUAYAQUIL
13/10/2023	PAC9370	TRANSLOINSA	VACA MANTILLA RODRIGO OSWAI	7.5	39	Tiendas Industriales Asociadas S.A.	GUAYAQUIL	NA	1387827	8029040199	8457771929	5465279804	678.79	2.48	CD GUAYAQUIL
13/10/2023	PAC9370	TRANSLOINSA	VACA MANTILLA RODRIGO OSWAI	7.5	39	Tiendas Industriales Asociadas S.A.	GUAYAQUIL	NA	1387827	8029040199	8457771928	5465278244	26.64	0.05	CD GUAYAQUIL
13/10/2023	PAC9370	TRANSLOINSA	VACA MANTILLA RODRIGO OSWAI	7.5	39	Tiendas Industriales Asociadas S.A.	GUAYAQUIL	NA	1387827	8457316350	8457316350	546530374	313.70	0.35	CD CAYAMBE
13/10/2023	PAC9370	TRANSLOINSA	VACA MANTILLA RODRIGO OSWAI	7.5	39	Tiendas Industriales Asociadas S.A.	GUAYAQUIL	NA	1387827	8457316349	8457316349	5465312424	585.33	0.90	CD CAYAMBE
13/10/2023	PAC9370	TRANSLOINSA	VACA MANTILLA RODRIGO OSWAI	7.5	39	Tiendas Industriales Asociadas S.A.	GUAYAQUIL	NA	1387827	8457316348	8457316348	5465282878	1,091.58	2.51	CD CAYAMBE
13/10/2023	GSM6300	TUPIZA Y GARCIA	LUIS RONQUILLO OLVERA	3.5	16	Carlos Alberto Bergman Zambrano	MANITA	1	6962538	8457268816	8457268816	5465311554	995.76	1.25	CD CAYAMBE
13/10/2023	GSM6300	TUPIZA Y GARCIA	LUIS RONQUILLO OLVERA	3.5	16	Gerardo Ortiz e Hijos Al. 113	MANITA	2	6277597	28743989	8457680819	5465178491	21.46	0.07	CD GUAYAQUIL
13/10/2023	GSM6300	TUPIZA Y GARCIA	LUIS RONQUILLO OLVERA	3.5	16	Gerardo Ortiz e Hijos Al. 113	MANITA	2	6277597	28743989	8457680818	5465141203	381.34	1.57	CD GUAYAQUIL
13/10/2023	GSM6300	TUPIZA Y GARCIA	LUIS RONQUILLO OLVERA	3.5	16	Gerardo Ortiz e Hijos Al. 113	MANITA	2	6277597	28743989	8457680817	5464843786	120.40	0.56	CD GUAYAQUIL
13/10/2023	GSM6300	TUPIZA Y GARCIA	LUIS RONQUILLO OLVERA	3.5	16	Gerardo Ortiz e Hijos Al. 113	MANITA	2	6277597	28743989	8457680816	5464505945	31.52	0.11	CD GUAYAQUIL
13/10/2023	GSM6300	TUPIZA Y GARCIA	LUIS RONQUILLO OLVERA	3.5	16	Gerardo Ortiz e Hijos Al. 113	MANITA	2	6277597	28743989	8457680822	5465286748	24.00	0.09	CD GUAYAQUIL
13/10/2023	GSM6300	TUPIZA Y GARCIA	LUIS RONQUILLO OLVERA	3.5	16	Gerardo Ortiz e Hijos Al. 113	MANITA	2	6277597	8454590115	8454590115	5465197418	26.50	0.03	CD CAYAMBE
13/10/2023	GSM6300	TUPIZA Y GARCIA	LUIS RONQUILLO OLVERA	3.5	16	Gerardo Ortiz e Hijos Al. 113	MANITA	2	6277597	8454590114	8454590114	5465141203	32.36	0.08	CD CAYAMBE
13/10/2023	GSM6300	TUPIZA Y GARCIA	LUIS RONQUILLO OLVERA	3.5	16	Gerardo Ortiz e Hijos Al. 113	MANITA	2	6277597	8454590113	8454590113	5465141203	333.35	0.55	CD CAYAMBE
13/10/2023	GSM6300	TUPIZA Y GARCIA	LUIS RONQUILLO OLVERA	3.5	16	Gerardo Ortiz e Hijos Al. 113	MANITA	2	0V076250	FACT 180049267	FACT 180049267	FACT 180049267	313.36	1.50	TERRAFERTIL
13/10/2023	GSM6300	TUPIZA Y GARCIA	LUIS RONQUILLO OLVERA	3.5	16	Gerardo Ortiz e Hijos Al. 113	MANITA	2	0V076485	FACT 180049268	FACT 180049268	FACT 180049268	197.63	1.50	TERRAFERTIL
13/10/2023	GSM6300	TUPIZA Y GARCIA	LUIS RONQUILLO OLVERA	3.5	16	Gerardo Ortiz e Hijos - via Manta Montecristi	MANITA	3	NG041281	FACT 180049266	FACT 180049266	FACT 180049266	3.70	0.50	TERRAFERTIL
13/10/2023	GSM6300	TUPIZA Y GARCIA	LUIS RONQUILLO OLVERA	3.5	16	Gerardo Ortiz e Hijos - via Manta Montecristi	MANITA	3	6230930	8029040775	8457680823	5465318584	16.00	0.06	CD GUAYAQUIL
13/10/2023	GSM6300	TUPIZA Y GARCIA	LUIS RONQUILLO OLVERA	3.5	16	Gerardo Ortiz e Hijos - via Manta Montecristi	MANITA	3	6230930	8029040775	8457680821	5465259230	27.77	0.10	CD GUAYAQUIL
13/10/2023	GSM6300	TUPIZA Y GARCIA	LUIS RONQUILLO OLVERA	3.5	16	Gerardo Ortiz e Hijos - via Manta Montecristi	MANITA	3	6230930	8029040775	8457680820	5465220899	8.80	0.07	CD GUAYAQUIL
13/10/2023	GSM6300	TUPIZA Y GARCIA	LUIS RONQUILLO OLVERA	3.5	16	Gerardo Ortiz e Hijos - via Manta Montecristi	MANITA	3	6230930	8454590117	8454590117	5465259230	35.06	0.04	CD CAYAMBE
13/10/2023	GSM6300	TUPIZA Y GARCIA	LUIS RONQUILLO OLVERA	3.5	16	Gerardo Ortiz e Hijos - via Manta Montecristi	MANITA	3	6230930	8454590116	8454590116	5465220899	26.40	0.09	CD CAYAMBE
13/10/2023	GBP3855	SALMAN	JOSE AVILES ESPIN	2.9	13	Trabienes S.A.	PLAYAS	1	6915163	8029042454	8457908572	5465333864	85.08	0.13	CD GUAYAQUIL
13/10/2023	GBP3855	SALMAN	JOSE AVILES ESPIN	2.9	13	Trabienes S.A.	PLAYAS	1	6915163	8029042454	8457908571	54652931602	71.50	0.20	CD GUAYAQUIL
13/10/2023	GBP3855	SALMAN	JOSE AVILES ESPIN	2.9	13	Trabienes S.A.	PLAYAS	1	6915163	8029042454	8457908570	5465211504	793.25	2.43	CD GUAYAQUIL

Nota. Este archivo es una recopilación del día a día planificado en la operación. Siempre la planificación se realiza para el siguiente turno.

En esta investigación, se observó que los datos recogidos en el archivo mencionado eran empleados en planificación y monitoreo. El responsable asignaba manualmente las prioridades de entrega según el tipo de cliente, determinaba los camiones que se utilizarían para el despacho y designaba los andenes correspondientes a cada unidad de transporte. Además, esta base de datos permitía un registro más detallado de la información relativa a los transportistas encargados de realizar las entregas, proporcionando así una visión integral y minuciosa de la cadena logística de la empresa. El tercer archivo que se consideró se llama “Tiempos de viaje”.

Figura 2.4.

Captura de archivo MS Excel: “Tiempos de viaje”

DESTINO	HORA DE SALIDA /TURNO	HORA DE SALIDA TURNO	Horas de viaje			distancia (km)	Tiempo Total de viaje incluido descanso	
ESMERALDAS	13:00/17:00	AL CULMINAR CARGA	12		Fca. Guayaquil a CD Guayaquil	EC0416	18,2	00:31:00
LAGO AGRIO	13:00/17:00	AL CULMINAR CARGA	24		Fca. Surindú a CD Guayaquil	EC0406	18,5	00:45:00
QUITO	13:00/17:00	AL CULMINAR CARGA	12		FLETE 2 CD GUAYAQUIL-AMBATO	EC0912	269	09:00:00
CAYAMBE	13:00/17:00	AL CULMINAR CARGA	12		FLETE 2 CD GUAYAQUIL-QUITO	EC1922	432	12:00:00
IBARRA	13:00/17:00	AL CULMINAR CARGA	12		FLETE 2 CD GUAYAQUIL-CAYAMBE	EC0916	497	16:00:00
JOYA DE LOS SACHAS	13:00/17:00	AL CULMINAR CARGA	24		FLETE 2 CD GUAYAQUIL-CUENCA	EC0918	199	08:00:00
LATACUNGA	17:00	AL CULMINAR CARGA	10		FLETE 2 CD GUAYAQUIL-ESMERALDAS	EC0907	367	12:00:00
MORONA	13:00/15:00	AL CULMINAR CARGA	10		FLETE 2 CD GUAYAQUIL-IBARRA	EC360P	546	17:00:00
AMBATO	17:00	AL CULMINAR CARGA	10		FLETE 2 CD GUAYAQUIL-LATACUNGA	EC0910	361	11:00:00
RIOBAMBA	17:00	AL CULMINAR CARGA	10		FLETE 2 CD GUAYAQUIL-LAGO AGRIO	EC0921	679	23:58:00
CUENCA	17:00	AL CULMINAR CARGA	6		FLETE 2 CD GUAYAQUIL-LIBERTAD -Salinas-Playas-Potojoja	EC0005	138	03:00:00
SANTO DOMINGO	17:00	AL CULMINAR CARGA	6		FLETE 2 CD GUAYAQUIL-LOJA	EC0919	405	12:00:00
AMBATO	17:00	AL CULMINAR CARGA	6		FLETE 2 CD GUAYAQUIL-MACHALA	EC0917	187	06:00:00
LOJA	15:00 /17:00	AL CULMINAR CARGA	8		FLETE 2 CD GUAYAQUIL-MANTA	EC090C	193	05:00:00
QUEVEDO /EL EMPALME	22:00 /04:00	22:00 /04:00	3		FLETE 2 CD GUAYAQUIL-MILAGRO	EC0904	70	01:30:00
CALCETA	04:00	04:00			FLETE 2 CD GUAYAQUIL-PORTOVIEJO	EC090C	189	05:00:00
PORTOVIEJO	04:00/05:00	04:00/05:00			FLETE 2 CD GUAYAQUIL-QUEVEDO	EC0908	184	05:00:00
DAULE	05:00	05:00			FLETE 2 CD GUAYAQUIL-SANTO DOMINGO	EC0908	288	06:14:00
SAMBORONDON	05:00	05:00			FLETE 2 CD GUAYAQUIL-MACAS	EC040M	488	16:00:00
BABAHYOY -Milagro - URDETA	05:00	05:00			FLETE 2 CD GUAYAQUIL-RIOBAMBA	EC0909	234	08:00:00
P. CARBO	05:00	05:00			FLETE 2 CD GUAYAQUIL DIFARE QUIFATEX TIA	EC560P	15	00:40:00
PLAYAS	05:00	05:00			FLETE 2 CD GUAYAQUIL MICOMISARIATO	EC0900	10	00:40:00
LA TRONCAL	05:00	05:00			FLETE 2 CD GUAYAQUIL GUAYAQUIL	EC560C	10	00:40:00
VINCES	05:00	05:00			FLETE 2 CD GUAYAQUIL SUPERMAXI FARCAMED	EC0915	10	00:20:00
GRAL VERINAZA	05:00	05:00			FLETE 2 CD GUAYAQUIL-TULCAN	EC360R	675	23:58:00
POSORJA	05:00	05:00			FLETE 2 CD GUAYAQUIL-BABAHYOY	EC360R	95	03:00:00
LIBERTAD	05:00	05:00			FLETE 2 CD GUAYAQUIL-GUARANDA/BOLIVAR	EC600P	174	08:00:00

Nota. Este archivo corresponde a los datos de tiempos promediados referentes a los viajes en los diferentes puntos del Ecuador.

En la base de datos examinada, se detallan los tiempos de viaje recopilados por la organización, con el propósito de determinar la duración estimada del trayecto de los camiones desde el Centro de Distribución (CD) en Guayaquil hasta los diversos clientes. La relevancia de

estos tiempos de viaje radica en su utilización como criterio fundamental para categorizar a los clientes, asignándoles prioridades específicas en función de la duración, desde el intervalo más extenso hasta el más breve.

Figura 2.5.

Captura de archivo MS Excel: “Base LT23 tiempos de preparación”

Semana	Dias	Material	Texto breve de material	Número de orden de transporte	Número de traspaño	Fecha creación	Usuario	Hora creación	Cola	Fecha confirmación	Usuario	Hora de confirmación	Usuario	Hora de confirmación
1	31	MARTES	12224200	NESTLE Galleta Vanilla 26x380g EC	13798431	161168	1/8/2023	ECCASTILMI	0.21.09	OTROS	1/8/2023	0.00.00	ECCASTILMI	0.21.09
2	31	MARTES	12224200	NESTLE Galleta Vanilla 26x380g EC	13798431	161168	1/8/2023	ECCASTILMI	0.21.09	OTROS	1/8/2023	0.00.00	ECCASTILMI	0.21.09
3	31	MARTES	12224200	NESTLE Galleta Vanilla 26x380g EC	13798431	161168	1/8/2023	ECCASTILMI	0.21.09	OTROS	1/8/2023	0.00.00	ECCASTILMI	0.21.09
4	31	MARTES	12224200	NESTLE Galleta Vanilla 26x380g EC	13798431	161168	1/8/2023	ECCASTILMI	0.21.09	OTROS	1/8/2023	0.00.00	ECCASTILMI	0.21.09
5	31	MARTES	12224200	NESTLE Galleta Vanilla 26x380g EC	13798431	161168	1/8/2023	ECCASTILMI	0.21.09	OTROS	1/8/2023	0.00.00	ECCASTILMI	0.21.09
6	31	MARTES	12224200	NESTLE Galleta Vanilla 26x380g EC	13798431	161168	1/8/2023	ECCASTILMI	0.21.09	OTROS	1/8/2023	0.00.00	ECCASTILMI	0.21.09
7	31	MARTES	12224200	NESTLE Galleta Vanilla 26x380g EC	13798431	161168	1/8/2023	ECCASTILMI	0.21.09	OTROS	1/8/2023	0.00.00	ECCASTILMI	0.21.09
8	31	MARTES	12456207	AMOR Wafers Pelses 54x130 EC	13825470	0	1/8/2023	JOBRUN	0.28.18	PK1 12	31/7/2023	20.29.37	ECURRIOLBR	20.29.47
9	31	MARTES	12224201	NESTLE Galleta Sal 26x380g EC	13798432	161169	1/8/2023	ECCASTILMI	0.29.25	OTROS	1/8/2023	0.00.00	ECCASTILMI	0.29.25
10	31	MARTES	12224201	NESTLE Galleta Sal 26x380g EC	13798432	161169	1/8/2023	ECCASTILMI	0.29.25	OTROS	1/8/2023	0.00.00	ECCASTILMI	0.29.25
11	31	MARTES	12224201	NESTLE Galleta Sal 26x380g EC	13798432	161169	1/8/2023	ECCASTILMI	0.29.25	OTROS	1/8/2023	0.00.00	ECCASTILMI	0.29.25
12	31	MARTES	12224201	NESTLE Galleta Sal 26x380g EC	13798432	161169	1/8/2023	ECCASTILMI	0.29.25	OTROS	1/8/2023	0.00.00	ECCASTILMI	0.29.25
13	31	MARTES	12224201	NESTLE Galleta Sal 26x380g EC	13798432	161169	1/8/2023	ECCASTILMI	0.29.25	OTROS	1/8/2023	0.00.00	ECCASTILMI	0.29.25
14	31	MARTES	12224201	NESTLE Galleta Sal 26x380g EC	13798432	161169	1/8/2023	ECCASTILMI	0.29.25	OTROS	1/8/2023	0.00.00	ECCASTILMI	0.29.25
15	31	MARTES	12224201	NESTLE Galleta Sal 26x380g EC	13798432	161169	1/8/2023	ECCASTILMI	0.29.25	OTROS	1/8/2023	0.00.00	ECCASTILMI	0.29.25
16	31	MARTES	12224201	NESTLE Galleta Sal 26x380g EC	13798432	161169	1/8/2023	ECCASTILMI	0.29.25	OTROS	1/8/2023	0.00.00	ECCASTILMI	0.29.25
17	31	MARTES	12528248	TANGO Clasico Mini Negro 20x299g N1 EC	13798433	161170	1/8/2023	ECCASTILMI	0.33.56	OTROS	1/8/2023	0.00.00	ECCASTILMI	0.33.56
18	31	MARTES	12528248	TANGO Clasico Mini Negro 20x299g N1 EC	13798433	161170	1/8/2023	ECCASTILMI	0.33.56	OTROS	1/8/2023	0.00.00	ECCASTILMI	0.33.56
19	31	MARTES	12528248	TANGO Clasico Mini Negro 20x299g N1 EC	13798433	161170	1/8/2023	ECCASTILMI	0.33.56	OTROS	1/8/2023	0.00.00	ECCASTILMI	0.33.56
20	31	MARTES	12528248	TANGO Clasico Mini Negro 20x299g N1 EC	13798433	161170	1/8/2023	ECCASTILMI	0.33.56	OTROS	1/8/2023	0.00.00	ECCASTILMI	0.33.56
21	31	MARTES	12528248	TANGO Clasico Mini Negro 20x299g N1 EC	13798433	161170	1/8/2023	ECCASTILMI	0.33.56	OTROS	1/8/2023	0.00.00	ECCASTILMI	0.33.56
22	31	MARTES	12528248	TANGO Clasico Mini Negro 20x299g N1 EC	13798433	161170	1/8/2023	ECCASTILMI	0.33.56	OTROS	1/8/2023	0.00.00	ECCASTILMI	0.33.56
23	31	MARTES	12304204	CERELAC Prob Iron+ Wheat 24x200g EC	13812153	0	1/8/2023	JOBRUN	5.17.39	OTROS	1/8/2023	0.00.00	JOBRUN	5.17.39
24	31	MARTES	12304204	CERELAC Prob Iron+ Wheat 24x200g EC	13812153	0	1/8/2023	JOBRUN	5.17.39	OTROS	1/8/2023	0.00.00	JOBRUN	5.17.39
25	31	MARTES	12320881	NESTUM BLProbio Iron+ 5 Cereals12x350gEC	13812154	0	1/8/2023	JOBRUN	5.17.40	OTROS	1/8/2023	0.00.00	JOBRUN	5.17.40
26	31	MARTES	12320881	NESTUM BLProbio Iron+ 5 Cereals12x350gEC	13812154	0	1/8/2023	JOBRUN	5.17.40	OTROS	1/8/2023	0.00.00	JOBRUN	5.17.40
27	31	MARTES	12321661	NESTUM BLProbio Iron+ 8Cer24x350gEC	13812155	0	1/8/2023	JOBRUN	5.17.41	OTROS	1/8/2023	0.00.00	JOBRUN	5.17.41
28	31	MARTES	12321661	NESTUM BLProbio Iron+ 8Cer24x350gEC	13812155	0	1/8/2023	JOBRUN	5.17.41	OTROS	1/8/2023	0.00.00	JOBRUN	5.17.41
29	31	MARTES	12393549	LA LECHERA Doy Pack 24x420g EC	13812156	0	1/8/2023	JOBRUN	5.17.42	OTROS	1/8/2023	0.00.00	JOBRUN	5.17.42
30	31	MARTES	12393549	LA LECHERA Doy Pack 24x420g EC	13812156	0	1/8/2023	JOBRUN	5.17.42	OTROS	1/8/2023	0.00.00	JOBRUN	5.17.42
31	31	MARTES	12022970	LA LECHERA Cond Milk Can 48x397g N1 EC	13812157	0	1/8/2023	JOBRUN	5.17.44	OTROS	1/8/2023	0.00.00	JOBRUN	5.17.44
32	31	MARTES	12022970	LA LECHERA Cond Milk Can 48x397g N1 EC	13812157	0	1/8/2023	JOBRUN	5.17.44	OTROS	1/8/2023	0.00.00	JOBRUN	5.17.44
33	31	MARTES	12554469	KIT KAT 4 Fingers Milk 4(24x41.5g) XL	13817994	0	1/8/2023	JOBRUN	5.23.45	OTROS	1/8/2023	0.00.00	JOBRUN	5.23.45

Nota. En esta base de datos se considera información recopilada de julio, agosto y septiembre, dado que en estos meses se dispone de más datos con respecto a los otros meses por la proximidad de las festividades.

En la figura 2.5 se observa la última base de datos analizada, dentro de estos datos se destaca la información de ubicación de destino (planificación de la carga), el inicio de la preparación de la carga y la finalización de la preparación de la carga. Por tanto, esta información detallada servirá de base para considerar los tiempos de preparación de la carga previo a la asignación del tiempo de inicio de la estiba. Cabe recalcar que se debe considerar un

tiempo de cuadro de la carga posterior a la preparación y previo al inicio de la estiba, este tiempo es estandarizado a una hora, independiente del número de orden de transporte.

2.2 Análisis de la información levantada: Situación actual

La operación en el centro de distribución se caracteriza por una alta complejidad en su análisis, principalmente atribuible a la volatilidad en la demanda de los clientes. Esta incertidumbre en la demanda plantea desafíos significativos para la realización de estudios predictivos fiables. En consecuencia, la capacidad de estos estudios para proporcionar datos consistentes y precisos que puedan fundamentar la toma de decisiones es limitada, lo que subraya la necesidad de enfoques más dinámicos y adaptativos en la gestión de la cadena de suministro en este contexto.

El análisis del flujograma presentado en la figura 2.1 revela que el proceso de despacho en el centro de distribución enfrenta tres cuellos de botella críticos que deben ser considerados para una evaluación efectiva. Estos cuellos de botella son: la disponibilidad del andén, el cumplimiento de la inspección de la carga y la inspección del vehículo. Una observación preliminar sugiere que estos factores son influencias significativas en la problemática identificada. Esto se debe a prácticas como la asignación empírica de la hora de llegada del vehículo, basada en la información suministrada por el área de planificación, resultando en elevados tiempos de espera, un fenómeno que se manifiesta en la operativa diaria del centro. Por tanto, se hace imperativo buscar métodos para agilizar o sistematizar este proceso, con el fin de mitigar los cuellos de botella identificados.

Para abordar esta situación, es esencial considerar diversos factores que inciden en el proceso de asignación. Estos incluyen la cantidad de estibadores disponibles por turno, el número de andenes operativos, el horario de funcionamiento del centro de distribución, los tiempos de

preparación de la carga previo a la estiba, entre otros. Una comprensión detallada de estos elementos es crucial para desarrollar estrategias efectivas que optimicen el proceso de despacho y mejoren la eficiencia general de las operaciones.

2.3 Descripción de los modelos

Después del levantamiento de información y análisis de los datos proporcionados, se expone el algoritmo matemático. El fin de este algoritmo es su adaptabilidad con la situación de la organización que cumpla los objetivos planteados.

2.3.1 *Supuestos y limitaciones*

Previo a la presentación del modelo se debe resaltar la consideración de los siguientes supuestos:

- Se utilizará la misma cantidad de operarios para un único turno.
- Por la reducida información referente a los tiempos de carga se asumirá un promedio por tipo de vehículo.
- Se asumirá un tiempo promedio de preparación de carga en función del tipo de vehículo debido la complejidad de considerar la variación del catálogo de SKU's presentes en la operación.
- Se considera un tiempo estándar de cuadro de mercadería, este será adicionado al tiempo de preparación de carga mencionado en el anterior supuesto, para este proceso es irrelevante el tipo de vehículo.
- El vehículo llegará en 40 minutos desde que se solicita la unidad y tardará 15 minutos en realizar su inspección.
- Existirán recursos suficientes para atender 17 andenes simultáneamente, penalizando 1 para la descarga de Cayambe.

2.3.2 *Formulación del problema de Job Shop Scheduling Problem*

Según se detalla en el marco teórico, el desafío de la planificación en el Job Shop consiste en organizar la secuencia de " n " trabajos, considerando los tiempos de procesamiento específicos para cada uno, en un conjunto de " m " máquinas. Se adapta este problema calendarización en la producción a un ámbito de planificación y distribución.

2.3.2.1 **Función Objetivo.**

El objetivo de este problema es minimizar el *Makespan*.

Minimizar $\{C_{max}\}$.

2.3.2.2 **Conjuntos y Parámetros.**

n : *El número total de placas (trabajos) a ser procesados en un conjunto de andenes (máquinas)*

m : *El número total de andenes (máquinas)*

p_i : *Prioridad del trabajo i*

t_i : *Tiempo de procesamiento del trabajo i*

ts_{ji} : *Tiempo de setup de la máquina j para el trabajo i*

A_i : *Número de andenes y estibadores necesarios para atender el trabajo i*

C_{ij} : *El tiempo de completación del trabajo en posición i en la máquina j .*

C_{max} : $C_{n,m} = \text{Makespan}$

2.3.2.3 **Algoritmo Glotón de Búsqueda.**

Con las consideraciones anteriores y la naturaleza de la programación matemática del problema, se procede a mencionar la estructura del algoritmo Glotón de Búsqueda para resolver el JSSP, es la siguiente:

Etapa 1: Se considera un conjunto de matriz vacía para el inicio y finalización de los trabajos, el cual representa nuestro cronograma de trabajo.

Etapa 2: Se realiza el ordenamiento en función de dos criterios voraces, el primero el de prioridad del trabajo y posterior el de tiempo de estiba.

Etapa 3: Se realiza el proceso de búsqueda para que cumpla las necesidades de procesamiento, este proceso de búsqueda se construye a través de la disponibilidad de andenes y estibadores en cada iteración.

Etapa 4: Se realiza la asignación de los trabajos durante cada periodo, considerando los requerimientos específicos de cada trabajo antes de procesarlo.

Etapa 5: Se guarda la información de la asignación dentro del conjunto matriz elaborado en el paso 1. Ahora esta información se establece como condiciones iniciales para el posterior algoritmo glotón.

Etapa 6: Se realiza un proceso iterativo que engloba al algoritmo glotón de búsqueda presentado en los pasos anteriores, este proceso permite la consideración de seccionamiento en el periodo inicio de la asignación. Además, se valida la existencia dentro de una iteración las placas relacionadas con la consolidación con el CD Cayambe, representado dentro del algoritmo como “RTM”.

Etapa 7: Finalmente se procede a la agrupación de la información en cada iteración para la construcción de la asignación en la matriz.

La estructura de este algoritmo se basa en la teoría glotona de los métodos constructivos heurísticos, por la naturaleza específica del problema la programación matemática de este problema JSSP y sus restricciones tendrá solución única.

Cabe recalcar que, si consideran otros aspectos en el estudio, como el no presentar prioridades en los vehículos a atender, permitiría la implementación de algún otro método heurístico comúnmente aplicado a los problemas de calendarización, como lo es la heurística glotona GRASP y una posterior mejora.

2.4 Uso de softwares

En esta sección se describe de manera breve las plataformas computacionales utilizadas para el desarrollo del presente proyecto.

2.4.1 *Microsoft Excel*

Microsoft Excel es un software de hoja de cálculo, utilizado en el ámbito empresarial, académico y personal. Se caracteriza por su capacidad para realizar análisis de datos, cálculos numéricos, procesamiento de datos y visualización gráfica. Esta herramienta permite a los usuarios organizar datos en tablas, realizar operaciones matemáticas complejas, y crear modelos para análisis de datos.

2.4.2 *Wolfram Mathematica*

Wolfram Mathematica es un software versátil que combina capacidades de álgebra computacional, cálculo simbólico y programación funcional. Permite realizar cálculos simbólicos, crear gráficos y visualizaciones, programar funciones matemáticas, manipular datos y realizar análisis estadísticos. Además, se integra con otros lenguajes y plataformas, facilita el desarrollo de aplicaciones interactivas y proporciona acceso a conocimientos a través de *Wolfram Alpha*. *Mathematica* que se utiliza ampliamente en investigación, educación e industria para abordar una variedad de problemas matemáticos y científicos. Cabe recalcar que existe una versión comercial con licencia, así como una versión gratuita llamada *Wolfram Engine*.

2.4.3 Consideraciones Éticas y Legales

En este proyecto, se ha hecho un análisis detallado y minucioso de elementos esenciales, que incluyen aspectos legales, así como consideraciones de salud, seguridad y bienestar laboral. Es vital abordar todos estos aspectos críticos para asegurar un ambiente de trabajo seguro y favorable para los empleados involucrados.

Dentro de este marco, las normativas se rigen por el Código del Trabajo de la Republica del Ecuador, según lo dispuesto en este código y las regulaciones adicionales establecidas. Con respecto a la organización del tiempo de trabajo, se observa una estricta adhesión a la jornada laboral ordinaria establecida, la cual no debe exceder las 8 horas diarias ni las 40 horas semanales. Además, cualquier hora trabajada fuera de este horario normal se considera como hora extra y, por ende, sujeta a una remuneración adicional.

El código impone límites en la cantidad de horas extras o suplementarias que un empleado puede realizar, para proteger su bienestar y equilibrio laboral-personal. Se incorporan disposiciones específicas para asegurar un ambiente de trabajo seguro y saludable, estableciendo las obligaciones del empleador en prevención de riesgos laborales y detallando los derechos de los trabajadores en accidentes de trabajo o enfermedades.

De esta manera el proyecto refleja el cumplimiento de las normativas garantizando un ambiente laboral óptimo, salvaguardando tanto la seguridad como el bienestar de todos los empleados.

2.5 Fases del proyecto

Para la ejecución exitosa del proyecto, se siguió un proceso metodológico estructurado en varias fases, cada una contribuyendo de manera secuencial al desarrollo global del trabajo. Cada

etapa aportó información valiosa y fundamentos esenciales que facilitaron la transición y el progreso hacia las fases subsiguientes. Esta metodología secuencial garantizó una evolución coherente y sistemática del proyecto. En las secciones siguientes, se presentará una figura ilustrativa para representar gráficamente estas fases, proporcionando una visión clara y detallada del proceso seguido en el desarrollo del proyecto.

Figura 2.6.

Fases del proyecto



Nota. Diagrama de las fases del proyecto por elaboración propia.

En primera instancia se coordinaron reuniones presenciales con la supervisora de la operación para realizar la visita de las instalaciones y proporcionar información referente a la operación que permita contextualizar la problemática. Posteriormente se procede al

levantamiento de información relevante, así como la recopilación de datos que permitirán analizar de manera más detallada en un paso posterior.

Con todo esto realizado se procede a construir un modelo matemático que se construye a partir de los datos proporcionados y las restricciones y limitaciones presentadas, gracias al análisis realizado anteriormente se postulan las variables y parámetros necesarios

Ya construido el modelo se procede a la implementación dentro de un software computacional que permita el procesar el ingreso del modelo y optimizarlo, aquí se da cabida a la prueba y error para la corrección de cualquier aspecto de la programación y modelamiento necesario.

A partir del modelo final se procede a generar resultados para el posterior análisis y presentación, esto tiene como fin observar e identificar aspectos como si el modelo realmente está ofreciendo valor para la organización.

2.6 Cronograma de trabajo

En esta sección se presenta de manera secuencial el cronograma de trabajo (figura 2.7) para el desarrollo del proyecto hasta la última presentación de este. Se cuenta con 15 semanas de trabajo.

Figura 2.7.
Cronograma de actividades desarrolladas

Cronograma de trabajo																	
Descripción de las actividades	Semana de inicio	Cumplimiento	Semanas														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			2 - 8 oct.	9 - 15 oct	16 - 22 oct	23 - 29 oct	30 oct - 5 nov	6 - 12 nov	13 - 19 nov	20 - 26 nov	27 nov - 3 dic	4 - 10 dic	11 - 17 dic	18 - 24 dic	25 - 31 dic	1 - 7 ene	8 - 14 ene
Levantamiento de información, estado de arte de la tesis (Investigación secundaria)	1	100%															
Descripción y análisis del problema	2	100%															
Busqueda y selección de modelos matemáticos como punto de partida	4	100%															
Recopilación y análisis de los datos	6	100%															
Formulación del modelo matemático	8	100%															
Modelización del problema en el software GAMS	10	100%															
Verificación de la factibilidad (Prueba y error)	12	100%															
Análisis de los resultados	12	100%															
Contraste de resultados	14	100%															
Conclusiones y recomendaciones	15	100%															

Nota. Cronograma en Excel por elaboración propia

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Dentro del marco de esta investigación, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la problemática detallada en los capítulos anteriores. Este análisis implicó la identificación de supuestos, limitaciones y restricciones inherentes al problema, así como el diseño meticuloso de un algoritmo matemático. En el presente capítulo, con estos elementos fundamentales establecidos, se procedió a la implementación del mencionado algoritmo, cuyo objetivo principal fue la generación de un cronograma eficiente para el área de planificación y trazabilidad. Este cronograma tenía como finalidad determinar con precisión los tiempos de llegada y salida de los vehículos en el área de despacho de la empresa. Se expone y detalla el proceso de análisis e interpretación de los resultados obtenidos a raíz de la implementación del algoritmo. Este proceso se llevó a cabo utilizando el software Wolfram Mathematica. Además, se menciona los costos y ahorros asociados a la implementación y operación del algoritmo, ofreciendo una visión integral del impacto económico de la solución propuesta.

3.1 Gestión de la base de datos

Durante el desarrollo de este estudio, resultó esencial el uso de herramientas de software para el manejo eficiente de los datos. En particular, el uso de Microsoft Excel tuvo como objetivo el procesar la información para colocarla dentro de una plantilla específica para una posterior importación dentro del código implementado en Wolfram Mathematica.

Esta plantilla estaba estructurada para incluir cinco datos principales, esenciales para el input del algoritmo matemático. Los datos considerados eran la placa del camión, tonelaje, destino, periodo y cortes de la planificación. La precisión en la recopilación y organización de

estos datos fue esencial, ya que constituyeron la base sobre la cual el algoritmo operó para generar soluciones óptimas.

Figura 3.1.
Plantilla de input en MS Excel al algoritmo

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
PLACAS	TON	REGION	PERIODO	CORTES	M3	TIPO	BASE	CIUDAD	CLIENTES	CARGA	ANDEN
XAA2047	5	AUSTRO	7	BORRADOR	26,8	LIVIANO	CD	MORONA	Comercial Y Comisariato Economico	8029387552-68014	
GTN6126	6	SIERRA NORTE Y ORIENTE	7	BORRADOR	25	LIVIANO	CD	QUITO	Farmaenlace Cia. Ltda. - Llano Grande		8029386413
PUH0812	13	SIERRA NORTE Y ORIENTE	7	BORRADOR	50	GH	CD	QUITO	Tiendas Industriales Asociadas S.A.		8029387631
JAA4033	12,5	SIERRA NORTE Y ORIENTE	7	BORRADOR	51	GH	CD	QUITO	Jairo Andres Castro Ortega		8029387564
GCA8950	5,22	GUAYAS	7	BORRADOR	26,5	LIVIANO	CD	GUAYAQUIL	Distribuciones Munoz Villaquiran	8029387590-8029386180	
GBP5615	7,5	GUAYAS	7	BORRADOR	36	FC	CD	GUAYAQUIL	Expertisima S.A.		8029387585
GBP2367	5,5	SIERRA NORTE Y ORIENTE	7,25	1er corte	28	LIVIANO	CD	GUAYAQUIL	Tiendas Industriales Asociadas S.A.		8
PAE1903	12	SIERRA NORTE Y ORIENTE	10,75	2do corte	48	GH	CD	QUITO	RUTA ESPECIAL-RUTA COBERTURA	29743807-29743809	
GBN8070	4,5	GUAYAS	12,75	RTM	14,64	LIVIANO	CD	GUAYAQUIL	nerciales -Distribuidora De Carnes Y Alim	7622-8466051606-8029388319-8466076823-8466	4
GBP7094	3,6	GUAYAS	12,75	RTM	16	LIVIANO	CD	GUAYAQUIL	Tiendas Tuti Ttde S.A. Via Daule-Liris S.	8466073403-8029387621-8029383472-8465787	7
XAA2004	3,53	GUAYAS	12,75	RTM	17,7	LIVIANO	CD	NARANJITO	Barand S.A-Gustavo Eduardo Montes Me	6029387600-8466080362-8029387616-8466080	9
GSN7855	2,57	GUAYAS	12,75	RTM	13	LIVIANO	CD	GUAYAQUIL	PURINA DURAN-PURINA NORTE	8029385704-8466014817-8029385702-8466014	16
GTG5726	2,9	GUAYAS	12,75	RTM	13	LIVIANO	CD	GUAYAQUIL	Pasteles Y Compania Pastelcon S.A. -SU	8466076825-FACT 1417-8029388322-84660768	8
GBO6084	2,8	GUAYAS	12,75	RTM	10	LIVIANO	CD	GUAYAQUIL	Tiendas Tuti Ttde S.A. Via A La Costa-La	8466073400-8466076822-8466082855-8029387	13
BAA2154	4	GUAYAS	12,75	RTM	24	LIVIANO	CD	GUAYAQUIL	Construwith S.A. MMTV-Restaurantes	8029383293-8466051604-8466076827	17
GSY2405	4,7	GUAYAS	12,75	RTM	33	LIVIANO	CD	GUAYAQUIL	Int Food Services Corp Via A Daule-Cons	8029383482-8466076820-8029388468-8466051	14
GBP5748	3,6	GUAYAS	12,75	RTM	18	LIVIANO	CD	GUAYAQUIL	Ilva Silva Lida Lidas Boutique - Yukkita E	8029388318-8029388324-8466076824-FACT 14	9
GBP7297	2,5	GUAYAS	12,75	RTM	11	LIVIANO	CD	GUAYAQUIL	PURINA CENTRO-COSTA-PURINA SUR	8029385707-8466014818-8029385698-8466014	18
GBP1923	3,6	GUAYAS	12,75	RTM	21	LIVIANO	CD	ALFREDO BAQUERIZO	Samuel Alejandro Vera Loza	8029387620-8465793325-8465793326	
GSB3779	30		13	3er corte	80	TRAILER	CD	GUAYAQUIL	Corporacion El Rosado S.A.		8029390607
BAA1878	12	AUSTRO	17	4to corte	45	GH	CD	LOJA	Distribuidora Granda Distrigranda C		8029391550
PAE1204	20	SIERRA NORTE Y ORIENTE	17	4to corte	55	MULA	CD	QUITO	PT NAVON	68028-68027-68029-8029391559-DEV	16
PAB3773	7,44	COSTA NORTE	17	4to corte	38	FC	CD	PORTOVIEJO	DSD + PT PORTOVIEJO	29743805-29743806-8029391592	9
GBP5591	5	GUAYAS	17	4to corte	26,19	LIVIANO	CD	GUAYAQUIL	Benjamin Ramiro Jacome Espinoza		8029391547
GBP1858	18	COSTA SUR	19,5	5to corte	70	TRAILER	CD	MACHALA	Hiperstock Cia. Ltda.		8029392462
PBA9783	7,5	SIERRA NORTE Y ORIENTE	20	5to corte	38	FC	CD	QUITO	PT NAVON	8029392281-8029392291-8029392483-TEST	23
XAA1663	7,5	SIERRA NORTE Y ORIENTE	20	5to corte	30	FC	CD	QUITO	PT NAVON		8029392557
GBP1916	3,6	COSTA NORTE	20	5to corte	18	LIVIANO	CD	PORTOVIEJO	PT PORTOVIEJO	FACT 1420-FACT 1421-FACT 1427-8029392656-	28
PAB4897	7,43	GUAYAS	21	5to corte	35	FC	CD	GUAYAQUIL	Produventas S.A.		8029393147

Nota. Plantilla de la instancia generada a partir de los datos planificados para el 24 de enero del 2024.

3.2 Resultado de la implementación del algoritmo matemático

A partir de la filtración, depuración y organización de los datos con el fin de proveer de un input adecuado al algoritmo matemático, se procede a ejecutar su implementación en Wolfram Mathematica. Con el fin de obtener resultados que sustenten su implementación y construcción.

3.2.1 Wolfram Mathematica

Como primera etapa el software importa los datos desde la plantilla creada en Excel con la información correspondiente a un día de planificación. Esta información debe colocarse con el orden especificado anteriormente e indicando la hoja en donde se encuentra la matriz.

Figura 3.2.

Captura de la información importada de Excel en Wolfram

Placa	Toneladas	Destino	Periodo de Inicio	Cortes
XAA2047	5.	AUSTRO	7.	BORRADOR
JAA4033	12.5	SIERRA NORTE Y ORIENTE	7.	BORRADOR
GTN6126	6.	SIERRA NORTE Y ORIENTE	7.	BORRADOR
GBP5615	7.5	GUAYAS	7.	BORRADOR
PUH0812	13.	SIERRA NORTE Y ORIENTE	7.	BORRADOR
GCA8950	5.22	GUAYAS	7.	BORRADOR
GBP2367	5.5	GUAYAS	7.25	Corte 1
PAB4225	10.	GUAYAS	7.25	Corte 1
PAE1903	12.	SIERRA NORTE Y ORIENTE	11.	Corte 2
PAB4093	5.	SIERRA NORTE Y ORIENTE	12.5	Corte 3
GBP2976	3.53	GUAYAS	12.75	Corte 4
GSB3779	30.	GUAYAS	12.75	Corte 4
XAA2004	3.53	GUAYAS	13.	RTM
GBN8070	4.5	GUAYAS	13.	RTM
GBP1923	3.6	GUAYAS	13.	RTM
GBP7297	2.5	GUAYAS	13.	RTM
GBP7094	3.6	GUAYAS	13.	RTM
BAA2154	4.	GUAYAS	13.	RTM
GSN7855	2.57	GUAYAS	13.	RTM
GSY2405	4.7	GUAYAS	13.	RTM
GBO6084	2.8	GUAYAS	13.	RTM
GBP5748	3.6	GUAYAS	13.	RTM
GTG5726	2.9	GUAYAS	13.	RTM
GSY3127	6.5	GUAYAS	13.	RTM
BAA1878	12.	AUSTRO	17.	Corte 5
PAE1204	20.	SIERRA NORTE Y ORIENTE	17.	Corte 5
GBP5591	5.	GUAYAS	17.	Corte 5
PAB3773	7.44	COSTA NORTE	17.	Corte 5
GBP1858	18.	COSTA SUR	19.5	Corte 6
XAA1663	7.5	SIERRA NORTE Y ORIENTE	20.	Corte 7
PBA9783	7.5	SIERRA NORTE Y ORIENTE	20.	Corte 7
GBP1916	3.6	COSTA NORTE	20.	Corte 7
PAB4897	7.43	GUAYAS	21.25	Corte 8

Después de importar los datos necesarios, se hace un tratamiento inicial de toda la matriz y se verifica que no existan espacios vacíos o datos incoherentes.

La asignación de prioridades se efectúa mediante la evaluación de la lista de destinos propuestos, estableciéndose dichas prioridades con base en una comparativa de los tiempos de viaje, de mayor a menor duración. Este proceso implica una verificación de la inclusión de cada destino en las listas predefinidas dentro del código. Posteriormente, se procede a la incorporación de la información relativa al número de prioridad asignado en la matriz correspondiente. Este

método asegura una asignación objetiva y sistemática de prioridades, fundamentada en criterios de tiempo de viaje.

La asignación de categorías de vehículos se fundamenta en la información específica relativa a las "Toneladas" y los rangos preestablecidos de tonelaje, los cuales sirven como criterio para clasificar los vehículos en tres tipos distintos. Este procedimiento implica una evaluación de las toneladas asociadas a cada vehículo, seguida por la correspondiente asignación a una de las tres categorías, basada en los intervalos de tonelaje definidos. Este enfoque asegura una clasificación precisa y coherente de los vehículos, facilitando así la gestión y el análisis de estos dentro del marco de estudio propuesto.

Dado esta información agregada se procede a verificar los parámetros correspondientes al tipo de vehículo, es decir, cantidad de andenes a ocupar, cantidad de estibadores a utilizar y el tiempo de permanencia en anden o andenes (tiempo de carga). El resultado de la nueva matriz se observa en la figura 3.3.

Las dos últimas columnas, derivadas de la plantilla de Excel, se ocupan de los desfases observados en la planificación diaria, atribuibles a las características inherentes de los procesos en el marco de Plan & Track. La columna denominada "Periodo de Inicio" detalla el momento exacto en que se produce un desfase en la planificación diaria, mientras que la columna "Cortes" clasifica el tipo específico de desfase o interrupción que se está abordando. Por ejemplo, la mención "BORRADOR" en esta última columna sugiere que la planificación se refiere a un turno que precede al primero del día en cuestión, implicando que no se asigna tiempo de preparación para los vehículos concernientes en la ejecución del algoritmo. En contraste, la indicación "RTM" señala que la carga asignada a un vehículo pertenece a una consolidación con el CD Cayambe, lo cual estipula que la carga no puede proceder hasta que los camiones de CD

Cayambe hayan completado la descarga de la mercancía. Esta condición se maneja como un parámetro estandarizado, exclusivamente aplicable a esta situación. Tales consideraciones se incorporan sistemáticamente en la ejecución del algoritmo, como se demostrará en la subsiguiente exposición de este capítulo.

Figura 3.3.
Captura de la información tratada de Excel en Wolfram

Placa	Toneladas	Destino	Periodo de inicio	Cortes	Prioridad	Tipo de Vehículo	Cant.Andenes	Cant.Estibadores	Tiempo de estiba (min)	Tiempo de preparación y cuadro de carga (min)
XAA2847	5.	AUSTRO	7.	BORRADOR	1	Liviano	1	1	60	132
JAA4033	12.5	SIERRA NORTE Y ORIENTE	7.	BORRADOR	1	Mediano	2	2	105	150
GTN6126	6.	SIERRA NORTE Y ORIENTE	7.	BORRADOR	1	Liviano	1	1	60	132
GBP5615	7.5	GUAYAS	7.	BORRADOR	3	Mediano	2	2	105	150
PLM8812	13.	SIERRA NORTE Y ORIENTE	7.	BORRADOR	1	Mediano	2	2	105	150
GCAR950	5.22	GUAYAS	7.	BORRADOR	3	Liviano	1	1	60	132
GBP2367	5.5	GUAYAS	7.25	Corte 1	3	Liviano	1	1	60	132
PAB4225	10.	GUAYAS	7.25	Corte 1	3	Mediano	2	2	105	150
PAE1903	12.	SIERRA NORTE Y ORIENTE	11.	Corte 2	1	Mediano	2	2	105	150
PAB4893	5.	SIERRA NORTE Y ORIENTE	12.5	Corte 3	1	Liviano	1	1	60	132
GBP2976	3.53	GUAYAS	12.75	Corte 4	3	Liviano	1	1	60	132
GSE3779	30.	GUAYAS	12.75	Corte 4	3	Trailer	3	3	120	158
XAA2804	3.53	GUAYAS	13.	RTM	3	Liviano	1	1	60	132
GBN8070	4.5	GUAYAS	13.	RTM	3	Liviano	1	1	60	132
GBP1923	3.6	GUAYAS	13.	RTM	3	Liviano	1	1	60	132
GBP7297	2.5	GUAYAS	13.	RTM	3	Liviano	1	1	60	132
GBP7804	3.6	GUAYAS	13.	RTM	3	Liviano	1	1	60	132
BAA2154	4.	GUAYAS	13.	RTM	3	Liviano	1	1	60	132
GSN7855	2.57	GUAYAS	13.	RTM	3	Liviano	1	1	60	132
GSY2485	4.7	GUAYAS	13.	RTM	3	Liviano	1	1	60	132
GBG8084	2.8	GUAYAS	13.	RTM	3	Liviano	1	1	60	132
GBP5748	3.6	GUAYAS	13.	RTM	3	Liviano	1	1	60	132
GTG5726	2.9	GUAYAS	13.	RTM	3	Liviano	1	1	60	132
GSY3127	6.5	GUAYAS	13.	RTM	3	Liviano	1	1	60	132
BAA1878	12.	AUSTRO	17.	Corte 5	1	Mediano	2	2	105	150
PAE1204	20.	SIERRA NORTE Y ORIENTE	17.	Corte 5	1	Trailer	3	3	120	158
GBPS591	5.	GUAYAS	17.	Corte 5	3	Liviano	1	1	60	132
PAB3773	7.44	COSTA NORTE	17.	Corte 5	2	Mediano	2	2	105	150
GBP1858	18.	COSTA SUR	19.5	Corte 6	2	Trailer	3	3	120	158
XAA1663	7.5	SIERRA NORTE Y ORIENTE	20.	Corte 7	1	Mediano	2	2	105	150
PBA9783	7.5	SIERRA NORTE Y ORIENTE	20.	Corte 7	1	Mediano	2	2	105	150
GBP1916	3.6	COSTA NORTE	20.	Corte 7	2	Liviano	1	1	60	132
PAB4897	7.43	GUAYAS	21.25	Corte 8	3	Mediano	2	2	105	150

Una vez procesada toda la información relevante, se procede a la ejecución del algoritmo. Este, caracterizado por su naturaleza de algoritmo voraz (o glotón), opera bajo un mecanismo de búsqueda que prioriza según criterios de jerarquía de prioridad y duración de estancia en el andén. En la fase inicial, se lleva a cabo la clasificación de los datos conforme al mencionado criterio de prioridad, asignando una mayor relevancia a la prioridad uno sobre las prioridades dos y tres, siguiendo este orden de manera descendente. Subsecuentemente, se efectúa la segregación de los datos en tres conjuntos distintos, cada uno correspondiente a un nivel de prioridad específico, con el objetivo de realizar una reorganización de estos basado en el criterio de tiempo de estancia en andén, diferenciado por tipo de vehículo. Como consecuencia de este proceso, se

logra como resultado una lista de datos que se ordena, en primera instancia, por prioridad y, en segunda, por tiempo de carga.

Adicionalmente, se crea una matriz inicial vacía, compuesta por ceros, cuyas dimensiones se correlacionan directamente con el número de andenes disponibles para operaciones y los periodos de operación definidos, representados en filas y columnas, respectivamente. Cada periodo está definido como un lapso de dos horas, comenzando a las 7 AM y concluyendo a las 2 AM del siguiente día o hasta que sea necesario para completar toda la planificación. En el marco del desarrollo del algoritmo, se han elaborado dos funciones fundamentales cuyo propósito es ejecutar la búsqueda y asignación de espacios dentro de la matriz, en estricta conformidad con los criterios previamente establecidos a partir de los datos procesados. La lógica subyacente a estas funciones se centra en maximizar la eficiencia de la asignación de vehículos a los andenes, procurando optimizar el uso del espacio disponible. Dichas funciones se incorporan como componentes esenciales del algoritmo principal, el cual procede a iterar a través de la matriz para asignar los vehículos a los andenes correspondientes en diversos periodos operativos. Como resultado de este proceso, se produce una lista meticulosamente organizada que detalla la asignación de vehículos, reflejando la secuencia y distribución optimizada de los mismos a lo largo de los periodos establecidos.

Este enfoque matemático de búsqueda no solo facilita una gestión eficiente de los recursos disponibles, sino que también contribuye a la sistematización del proceso de asignación, garantizando una implementación coherente y alineada con los objetivos operativos definidos. En el entorno de programación de Wolfram, se logra generar como producto final una matriz parcialmente completada que encapsula la asignación de los vehículos a los andenes pertinentes. Esta matriz no solo incorpora las placas de los vehículos asignados, sino que también detalla los

periodos de permanencia, reflejando los intervalos de tiempo desde el inicio hasta la finalización de la estancia planificada de cada camión. Adicionalmente, se incorporan en los análisis variables críticas tales como los tiempos de preparación de la carga y las operaciones de consolidación específicas con el CD Cayambe.

Este resultado no solo evidencia la capacidad del código para facilitar una visión integral y detallada de la logística involucrada en la asignación de andenes y la gestión temporal de los vehículos, sino que también subraya la importancia de considerar variables operativas específicas en el proceso de planificación.

Figura 3.4.

Fragmento del resultado de la pequeña instancia mostrada en la figura 3.1

	07:00 - 07:15	07:15 - 07:30	07:30 - 07:45	07:45 - 08:00	08:00 - 08:15	08:15 - 08:30	08:30 - 08:45	08:45 - 09:00	09:00 - 09:15	09:15 - 09:30	09:30 - 09:45	09:45 - 10:00
Anden 1	GTN6126	GTN6126	GTN6126	GTN6126	0	0	0	0	0	0	0	0
Anden 2	XAA2847	XAA2847	XAA2847	XAA2847	0	0	0	0	0	0	0	0
Anden 3	PIH0812	0	0	0	0	0						
Anden 4	PIH0812	0	0	0	0	0						
Anden 5	JAA4833	0	0	0	0	0						
Anden 6	JAA4833	0	0	0	0	0						
Anden 7	GCA8950	GCA8950	GCA8950	GCA8950	0	0	0	0	0	0	0	0
Anden 8	GBP5615	0	0	0	0	0						
Anden 9	GBP5615	0	0	0	0	0						
Anden 10	0	Prep-GBP2367	GBP2367	GBP2367								
Anden 11	0	Prep-PAB4225	PAB4225									
Anden 12	0	Prep-PAB4225	PAB4225									
Anden 13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anden 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anden 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anden 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anden 17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A partir del procesamiento y análisis de las secuencias generadas, junto con la matriz del cronograma y la información pertinente a los camiones procesados, se procede a la elaboración de una representación visual de la información obtenida mediante la implementación de un diagrama de Gantt. Este diagrama incorpora una leyenda detallada que identifica las placas de los vehículos asignados, proporcionando así una visión clara y estructurada de la secuencia temporal de las asignaciones y operaciones planificadas.

La utilización de dicho diagrama facilita la comprensión de la distribución temporal y la utilización de los recursos, permitiendo una interpretación intuitiva y precisa de los patrones de asignación vehicular y la duración de las estancias en los andenes.

Figura 3.5.

Captura del resultado en forma de diagrama de Gantt del día 1

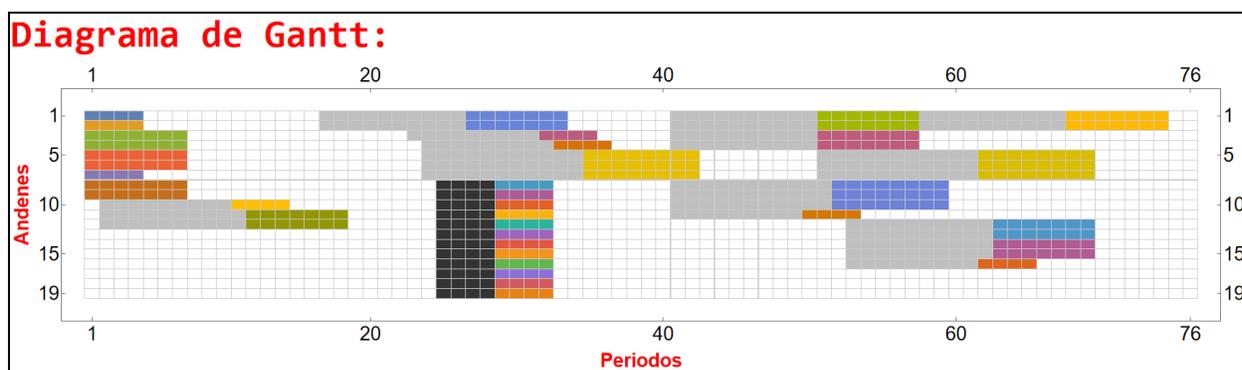


Figura 3.6.

Leyenda de la figura 3.5.

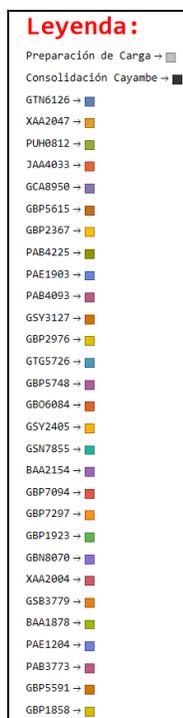


Figura 3.7.
Fragmento de la reportería de andenes utilizados

REPORTE POR ANDEN		
Anden 1		
Placa o preparación atendida	Periodo de inicio	Periodo de finalización
GTN6126	07:00	08:00
Prep-PAE1903	11:00	13:30
PAE1903	13:30	15:15
Prep-BAA1878	17:00	19:30
BAA1878	19:30	21:15
Prep-PAB4897	21:15	23:45
PAB4897	23:45	01:30
Anden 2		
Placa o preparación atendida	Periodo de inicio	Periodo de finalización
Prep-PAE1903	11:00	13:30
PAE1903	13:30	15:15
Prep-BAA1878	17:00	19:30
BAA1878	19:30	21:15
Prep-PAB4897	21:15	23:45
PAB4897	23:45	01:30
XAA2047	07:00	08:00
Anden 3		
Placa o preparación atendida	Periodo de inicio	Periodo de finalización
PUH0812	07:00	08:45
Prep-PAB4093	12:30	14:45
PAB4093	14:45	15:45
Prep-GBP5591	17:00	19:15
GBP5591	19:15	20:15
Anden 4		
Placa o preparación atendida	Periodo de inicio	Periodo de finalización
PUH0812	07:00	08:45
ConsolidaciónCVB	13:00	14:00
GBP2976	14:00	15:00
Prep-GSB3779	15:00	17:45
GSB3779	17:45	19:45
Prep-PBA9783	20:00	22:30
PBA9783	22:30	00:15
Anden 5		
Placa o preparación atendida	Periodo de inicio	Periodo de finalización
ConsolidaciónCVB	13:00	14:00
Prep-GSB3779	15:00	17:45

Figura 3.8.
Fragmento de la reportería de placas atendidas

REPORTE POR PLACA		
Placa: GTN6126		
Número de Anden:	Periodo de inicio	Periodo de finalización
1	07:00	08:00
Placa: XAA2047		
Número de Anden:	Periodo de inicio	Periodo de finalización
2	07:00	08:00
Placa: PUH0812		
Número de Anden:	Periodo de inicio	Periodo de finalización
3	07:00	08:45
4	07:00	08:45
Placa: JAA4033		
Número de Anden:	Periodo de inicio	Periodo de finalización
5	07:00	08:45
6	07:00	08:45
Placa: GCA8950		
Número de Anden:	Periodo de inicio	Periodo de finalización
7	07:00	08:00
Placa: GBP5615		
Número de Anden:	Periodo de inicio	Periodo de finalización
8	07:00	08:45
9	07:00	08:45
Placa: GBP2367		
Número de Anden:	Periodo de inicio	Periodo de finalización
10	09:30	10:30
Placa: PAB4225		
Número de Anden:	Periodo de inicio	Periodo de finalización
11	09:45	11:30
12	09:45	11:30
Placa: PAE1903		
Número de Anden:	Periodo de inicio	Periodo de finalización
1	13:30	15:15
2	13:30	15:15
Placa: PAB4093		
Número de Anden:	Periodo de inicio	Periodo de finalización
3	14:45	15:45
Placa: GBP2976		
Número de Anden:	Periodo de inicio	Periodo de finalización
4	14:00	15:00

En las figuras 3.7-3.8 se puede observar fragmentos de la reportería referente a los procesos asignados durante el día, dentro de esta reportería se detalla el inicio del proceso y la

finalización de este. Esta reportería facilita la lectura y comprensión por el usuario del resultado del algoritmo matemático ejecutado.

3.2.2 *Análisis de resultados*

El proceso de asignación de andenes dentro del ámbito del *Plan & Track* inicia basándose en la información previamente planificada, la cual se elabora con varias horas de anticipación o del día anterior. Es relevante mencionar que esta planificación puede incluir solicitudes de vehículos remontándose hasta dos días previos. Se debe subrayar la naturaleza fundamentalmente manual de este proceso, el cual es llevado a cabo por dos personas. La ejecución de estas tareas demanda un compromiso temporal diferenciado a lo largo del mes: aproximadamente dos horas diarias durante los primeros quince días y una extensión a diez horas diarias para los últimos quince días del mes.

Para analizar los resultados se consideran los datos referentes al número de vehículos procesados, los tiempos de demora del vehículo al llegar al CD tras solicitarlo, los tiempos de espera del camión para iniciar su carga y la finalización de la carga.

Utilizando el cronograma propuesto por el algoritmo se realizarían las solicitudes de los vehículos desde el día anterior, lo cual mitigaría los tiempos de espera para la llegada del camión al CD, al ser solicitado con varias horas de anticipación o desde el día anterior.

En lo que concierne al tiempo de espera para la carga, la información derivada del cronograma producido por el algoritmo implementado se emplea estratégicamente para informar al departamento de almacenamiento sobre las horas específicas en las cuales las diversas cargas deben estar preparadas para el día subsiguiente. Esta metodología tiene como objetivo primordial minimizar el lapso que transcurre desde la llegada del vehículo al Centro de Distribución (CD) hasta el inicio efectivo de su carga. Mediante esta práctica, se facilita una mayor sinergia entre

las distintas áreas involucradas, contribuyendo significativamente al incremento de la productividad y al mejoramiento del nivel de servicio al cliente.

Este enfoque no solo optimiza los procedimientos operativos internos, sino que también realiza la eficiencia logística, estableciendo un marco de operación más coordinado y eficaz. La implementación de esta estrategia resulta en una notable reducción de los tiempos de inactividad y una mejora sustancial en la gestión de recursos, factores ambos esenciales para la consecución de un servicio al cliente de alta calidad.

Figura 3.9.

Diagrama de Gantt resultante del día 2

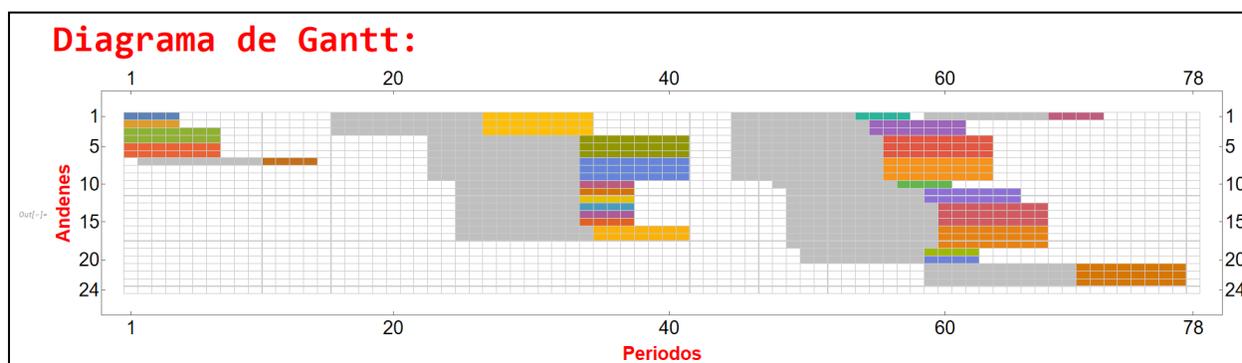


Figura 3.10.

Leyenda del diagrama de Gantt del día 2

Leyenda:	
Preparación de Carga →	■
Consolidación Cayambe →	■
GSY2405 →	■
PAB9342 →	■
IBD3944 →	■
KAA1503 →	■
GB02833 →	■
GSN4992 →	■
PAA9879 →	■
PAB5458 →	■
GBN8070 →	■
PDY2682 →	■
XAA2004 →	■
GBP2367 →	■
GBP3855 →	■
GBP2976 →	■
PAB4225 →	■
BAA2154 →	■
XBB2354 →	■
PAB2505 →	■
GBN4096 →	■
GCA8950 →	■
HBA6144 →	■
GBN7709 →	■
PAA9704 →	■
GSN7855 →	■
GBP3371 →	■
PAB6594 →	■
GBP8276 →	■

Figura 3.11.
Diagrama de Gantt resultante del día 3

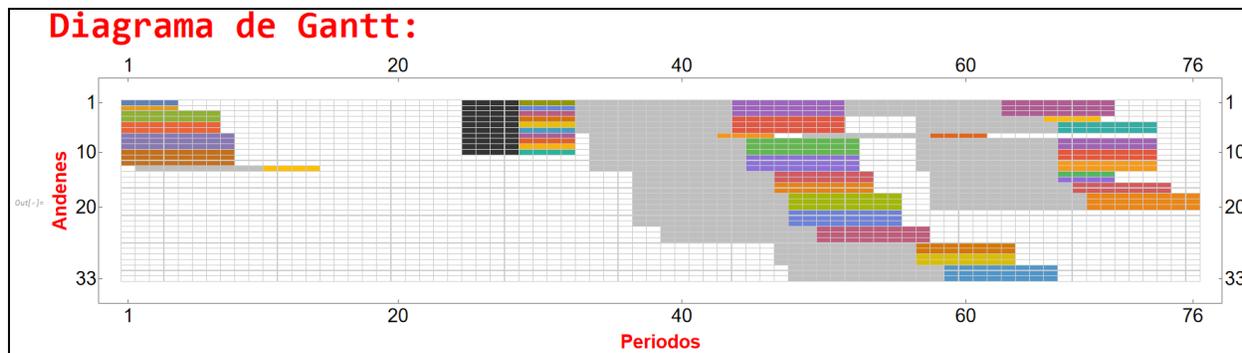


Figura 3.12.
Leyenda del diagrama de Gantt del día 3

Leyenda:	
Preparación de Carga →	■
Consolidación Ceyambe →	■
GTN6126 →	■
MBF4556 →	■
BAA1878 →	■
GBP5615 →	■
POA8466 →	■
GBP1858 →	■
GBP5748 →	■
GBN8070 →	■
POE5603 →	■
POY2682 →	■
GBD6084 →	■
GBP3371 →	■
XAA2004 →	■
PAB9499 →	■
GBP1923 →	■
GBP7094 →	■
GBP7297 →	■
GBN4096 →	■
GSB3840 →	■
GCA8950 →	■
POS0267 →	■
AAV0116 →	■
PAB7007 →	■
PAB4225 →	■
XAI1228 →	■
PAB2619 →	■
PAC1207 →	■
PAB3773 →	■
PAB5559 →	■
GBN7427 →	■
GBP8036 →	■
GBP2367 →	■
GBN5819 →	■
PAD1103 →	■
PAB4675 →	■
IBD3944 →	■
PAB4637 →	■
GBP1916 →	■
GSY2405 →	■
HBA6144 →	■

Cabe recalcar que al analizar los cronogramas generados en las corridas como lo muestran las figuras 3.5-3.6 y 3.9-3.12, se observa que el algoritmo siempre compacta los procesos de tal manera que se reduce el tiempo de operación diaria, contribuyendo así en la disminución de horas extras remuneradas y pago a proveedores de estiba.

Figura 3.13.

Tabla resumen de tiempos de espera de 8 instancias

DIA	Tiempo de espera(Ilegada del camion)	Tiempo de espera(carga)	Vehiculos procesados
1	0:47:00	0:23:00	13
2	0:58:00	1:35:00	23
3	0:51:00	0:58:00	16
4	0:52:00	1:46:00	15
5	0:45:00	2:04:00	11
6	0:54:00	2:05:00	21
7	0:41:00	1:41:00	21
8	1:53:19	1:20:43	19

La tabla referenciada fue empleada con el objetivo de cuantificar los tiempos efectivos de retraso experimentados en el Centro de Distribución (CD) de Gye. Tal como se ilustra en la figura correspondiente, los tiempos promedio de espera desde que una unidad es asignada hasta su llegada al CD fluctúan entre 45 minutos y una hora con 53 minutos.

Este análisis resalta la ineficiencia de los procedimientos actuales, permitiendo una evaluación detallada de la operación en el mencionado centro, facilitando la identificación de intervalos temporales específicos asociados con procesos logísticos. La determinación de estos tiempos promedio de espera es fundamental para el desarrollo de estrategias encaminadas a la optimización de los flujos de trabajo y la reducción de los tiempos de inactividad.

Figura 3.14.
Tabla comparativa real vs algoritmo matemático

PLACA	DATOS REALES					CRONOGRAMA RESULTANTE					VARIACIÓN
	HORA DE ARRIBO	INICIO DE CARGA	FIN DE CARGA	TIEMPO DE ESPERA (LLEGADA DEL CAMIÓN)	TIEMPO DE CARGA	HORA DE ARRIBO	INICIO DE CARGA	FIN DE CARGA	TIEMPO DE ESPERA (LLEGADA DEL CAMIÓN)	TIEMPO DE CARGA	
XAA2047	6:57:00	7:05:00	8:16:00	0:08:00	1:11:00	7:00:00	7:00:00	8:00:00	0:00:00	1:00:00	-18,33%
JAA4033	6:59:00	7:10:00	9:23:00	0:11:00	2:13:00	7:00:00	7:00:00	8:45:00	0:00:00	1:45:00	-26,67%
GTN6126	7:07:00	7:10:00	7:58:00	0:03:00	0:48:00	7:00:00	7:00:00	8:00:00	0:00:00	1:00:00	20,00%
GBP5615	7:01:00	7:10:00	9:07:00	0:09:00	1:57:00	7:00:00	7:00:00	8:45:00	0:00:00	1:45:00	-11,43%
PUH0812	7:20:00	7:25:00	10:01:00	0:05:00	2:36:00	7:00:00	7:00:00	8:45:00	0:00:00	1:45:00	-48,57%
GCA8950	7:41:00	8:00:00	9:56:00	0:19:00	1:56:00	7:00:00	7:00:00	8:00:00	0:00:00	1:00:00	-93,33%
GBP2367	11:21:00	11:30:00	12:18:00	0:09:00	0:48:00	9:30:00	9:30:00	10:30:00	0:00:00	1:00:00	20,00%
PAB4225	15:40:00	16:00:00	17:32:00	0:20:00	1:32:00	9:45:00	9:45:00	11:30:00	0:00:00	1:45:00	12,38%
PAE1903	13:43:00	14:39:00	17:12:00	0:56:00	2:33:00	13:30:00	13:30:00	15:15:00	0:00:00	1:45:00	-45,71%
PAB4093	14:00:00	17:07:00	18:01:00	3:07:00	0:54:00	14:45:00	14:45:00	15:45:00	0:00:00	1:00:00	10,00%
GBP2976	16:33:00	17:35:00	18:04:00	1:02:00	0:29:00	15:00:00	15:00:00	16:00:00	0:00:00	1:00:00	51,67%
GSB3779	15:24:00	18:00:00	19:11:00	2:36:00	1:11:00	15:30:00	15:30:00	17:30:00	0:00:00	2:00:00	40,83%
XAA2004	13:00:00	13:20:00	14:18:00	0:20:00	0:58:00	14:00:00	14:00:00	15:00:00	0:00:00	1:00:00	3,33%
GBN8070	13:24:00	13:30:00	15:15:00	0:06:00	1:45:00	14:00:00	14:00:00	15:00:00	0:00:00	1:00:00	-75,00%
GBP1923	13:54:00	14:00:00	14:40:00	0:06:00	0:40:00	14:00:00	14:00:00	15:00:00	0:00:00	1:00:00	33,33%
GBP7297	13:26:00	14:00:00	15:49:00	0:34:00	1:49:00	14:00:00	14:00:00	15:00:00	0:00:00	1:00:00	-81,67%
GBP7094	13:14:00	14:00:00	15:11:00	0:46:00	1:11:00	14:00:00	14:00:00	15:00:00	0:00:00	1:00:00	-18,33%
BAA2154	15:16:00	15:30:00	16:45:00	0:14:00	1:15:00	14:00:00	14:00:00	15:00:00	0:00:00	1:00:00	-25,00%
GSN7855	15:30:00	15:35:00	15:48:00	0:05:00	0:13:00	14:00:00	14:00:00	15:00:00	0:00:00	1:00:00	78,33%
GSY2405	15:24:00	15:45:00	16:15:00	0:21:00	0:30:00	14:00:00	14:00:00	15:00:00	0:00:00	1:00:00	50,00%
GBO6084	15:40:00	16:00:00	17:12:00	0:20:00	1:12:00	14:00:00	14:00:00	15:00:00	0:00:00	1:00:00	-20,00%
GBP5748	16:40:00	16:50:00	17:30:00	0:10:00	0:40:00	14:00:00	14:00:00	15:00:00	0:00:00	1:00:00	33,33%
GTG5726	17:30:00	17:35:00	18:01:00	0:05:00	0:26:00	14:00:00	14:00:00	15:00:00	0:00:00	1:00:00	56,67%
GSY3127	17:37:00	17:50:00	18:39:00	0:13:00	0:49:00	14:00:00	14:00:00	15:00:00	0:00:00	1:00:00	18,33%
BAA1878	18:42:00	19:30:00	20:50:00	0:48:00	1:20:00	19:30:00	19:30:00	21:15:00	0:00:00	1:45:00	23,81%
PAE1204	19:14:00	20:40:00	22:48:00	1:26:00	2:08:00	19:45:00	19:45:00	21:45:00	0:00:00	2:00:00	-6,67%
GBP5591	18:01:00	21:20:00	22:59:00	3:19:00	1:39:00	19:15:00	19:15:00	20:15:00	0:00:00	1:00:00	-65,00%
PAB3773	18:53:00	21:20:00	0:01:00	2:27:00	2:41:00	19:30:00	19:30:00	21:15:00	0:00:00	1:45:00	-53,33%
GBP1858	19:55:00	20:45:00	22:49:00	0:50:00	2:04:00	22:15:00	22:15:00	0:15:00	0:00:00	2:00:00	-3,33%
XAA1663	21:25:00	22:45:00	0:01:00	1:20:00	1:16:00	22:30:00	22:30:00	0:15:00	0:00:00	1:45:00	27,62%
PBA9783	21:27:00	22:50:00	0:01:00	1:23:00	1:11:00	22:30:00	22:30:00	0:15:00	0:00:00	1:45:00	32,38%
GBP1916	21:48:00	23:00:00	0:01:00	1:12:00	1:01:00	22:15:00	22:15:00	23:15:00	0:00:00	1:00:00	-1,67%
PAB4897	22:26:00	23:00:00	0:01:00	0:34:00	1:01:00	23:45:00	23:45:00	1:30:00	0:00:00	1:45:00	41,90%

Con un enfoque particular en la placa GCA8950, clasificado bajo el término "BORRADOR". De acuerdo con la programación establecida, el servicio a dicho vehículo estaba previsto para las 7:00. Sin embargo, se observó una desviación significativa en el cumplimiento de este horario, evidenciando un retraso de 41 minutos en la llegada del camión a CD. Este incidente influye directamente en la eficiencia del proceso operativo, ya que, adicionalmente, el tiempo de atención inicial al vehículo fue de 19 minutos.

Más aún, el proceso de carga exhibió una demora considerable, tomando 1 hora y 56 minutos para su completitud. Esta duración excede notoriamente el tiempo estimado,

especialmente al considerar el análisis previo, que sugiere que, por la naturaleza ligera del vehículo, el proceso de carga debería requerir aproximadamente una hora.

Además, se realiza un detallado examen de los tiempos de carga para tres vehículos de transporte correspondientes a la categoría “RTM”, identificados específicamente por sus placas GCN7855, GBP7297, y GBN8070, respectivamente. Cada caso se evalúa bajo la eficiencia operativa y la adherencia a los tiempos de carga programados, considerando las características particulares de cada camión y las expectativas de rendimiento basadas en dichas características.

Placa GCN7855: Este vehículo, catalogado como camión liviano, presentó un notable desempeño en su proceso de carga, completándolo en apenas 13 minutos. Este tiempo es significativamente inferior al tiempo de demora esperado para su carga, estimado en una hora. Este caso se destaca por su excepcional eficiencia.

Placa GBP7297: La llegada de este camión se registró a las 13:30, iniciándose su atención a las 14:00. El proceso de carga para este vehículo se extendió durante 1 hora y 40 minutos, casi duplicando el tiempo estimado previamente para su carga, que era de una hora. Este incremento sustancial en el tiempo de carga indica desviaciones en la eficiencia operativa.

Placa GBN8070: Este camión llegó a las 13:24, comenzando efectivamente 6 minutos después su carga. El proceso completo de carga culminó 1 hora y 45 minutos después, un resultado que se desvía significativamente de lo programado, ya que el tiempo establecido para la carga de los tres camiones verdaderos fue de una hora cada uno.

Para el caso correspondiente a la placa PAB4897, contrastando los tiempos reales de operación con los estimados por el algoritmo de planificación. Originalmente, se proyectó que la operación se extendería hasta la 01:45 del siguiente día, pero sorprendentemente concluyó a las 00:01. Esta discrepancia se atribuye a una mayor eficiencia tanto en la preparación de la carga

como en el proceso de carga en sí, superando las expectativas por un total de 45 minutos en cada fase. En total, la operación resultó ser una hora y 30 minutos más rápida que lo planificado.

La comparación entre los tiempos reales de carga y los programados indica diferencias significativas en la eficiencia de los procesos de carga. Un vehículo excedió las expectativas, mientras que otros dos tardaron mucho más de lo previsto, lo que destaca la necesidad de ajustar las prácticas operativas y los procedimientos de planificación.

Figura 3.15.

Tabla de desfases observados por placa

PLACA	DESFASE		
	REAL	ALGORITMO	DIFERENCIAS
XAA2047	0:05:00	0:00:00	0:05:00
JAA4033	0:10:00	0:00:00	0:10:00
GTN6126	0:10:00	0:00:00	0:10:00
GBP5615	0:10:00	0:00:00	0:10:00
PUH0812	0:25:00	0:00:00	0:25:00
GCA8950	1:00:00	0:00:00	1:00:00
GBP2367	4:25:00	2:25:00	2:00:00
PAB4225	8:55:00	2:40:00	6:15:00
PAE1903	3:31:00	2:22:00	1:09:00
PAB4093	4:37:00	2:15:00	2:22:00
GBP2976	4:44:00	2:09:00	2:35:00
GSB3779	5:09:00	2:39:00	2:30:00
XAA2004	0:20:00	1:00:00	0:40:00
GBN8070	0:30:00	1:00:00	0:30:00
GBP1923	1:00:00	1:00:00	0:00:00
GBP7297	1:00:00	1:00:00	0:00:00
GBP7094	1:00:00	1:00:00	0:00:00
BAA2154	2:30:00	1:00:00	1:30:00
GSN7855	2:35:00	1:00:00	1:35:00
GSY2405	2:45:00	1:00:00	1:45:00
GBO6084	3:00:00	1:00:00	2:00:00
GBP5748	3:50:00	1:00:00	2:50:00
GTG5726	4:35:00	1:00:00	3:35:00
GSY3127	4:50:00	1:00:00	3:50:00
BAA1878	2:30:00	2:30:00	0:00:00
PAE1204	3:40:00	2:45:00	0:55:00
GBP5591	4:20:00	2:15:00	2:05:00
PAB3773	4:15:00	2:25:00	1:50:00
GBP1858	1:15:00	2:45:00	1:30:00
XAA1663	2:45:00	2:30:00	0:15:00
PBA9783	2:50:00	2:30:00	0:20:00
GBP1916	2:55:00	2:10:00	0:45:00
PAB4897	1:50:00	2:35:00	0:45:00

En el presente análisis, se examina la discrepancia entre las operaciones de carga reales y las previstas establecidas por el algoritmo matemático, con el objetivo de evaluar la eficiencia operativa en el manejo de vehículos de carga. Se estructura en torno a tres columnas de datos, donde la primera columna enumera las placas de los camiones, sirviendo como identificadores únicos para cada vehículo. Las subsiguientes columnas, etiquetadas como "REAL" y "ALGORITMO", registran las diferencias de tiempo entre el momento en que cada vehículo fue asignado y el inicio efectivo del proceso de carga.

La evaluación de estos datos revela una discrepancia notable: los tiempos previstos por el algoritmo son consistentemente menores en comparación con los tiempos de operación reales. Esta diferencia subraya una ineficiencia operativa crítica, en la cual la preparación de la carga no se inicia de manera oportuna tras la asignación de los camiones. Como resultado, se observa un incremento significativo en los tiempos de espera antes de comenzar la carga, lo que, a su vez, provoca retrasos considerables.

Este hallazgo pone en manifiesto la necesidad de implementar medidas correctivas que aseguren el inicio inmediato de la preparación de la carga una vez que los vehículos son asignados. El análisis concluye que una gestión eficiente y una coordinación mejorada entre la asignación de vehículos y el inicio de la carga son esenciales para optimizar los tiempos de operación y, por ende, mejorar la eficiencia general de las operaciones logísticas.

3.2.3 Análisis de costos asociados a la implementación

La implementación de Wolfram Mathematica en una empresa es una inversión estratégica destinada a mejorar la eficiencia de los procesos analíticos y de modelado matemático. Esta sección detalla los costos asociados a la adquisición y uso de este software, así como su impacto en el presupuesto operativo de la compañía.

Inicialmente, la inversión en Wolfram Mathematica implica el costo de las licencias de software. Optar por un plan de licencia empresarial, que proporciona acceso a múltiples usuarios y ofrece la flexibilidad necesaria para adaptarse a las crecientes necesidades de una organización. El costo de estas licencias debe considerarse tanto en términos de gasto inicial como en renovaciones anuales.

Además de los costos directos de licencia, se debe invertir en capacitación para los empleados que van a trabajar con el software. Esto asegura que el equipo pueda aprovechar al máximo las capacidades del software. La capacitación incluye talleres especializados y sesiones de entrenamiento, lo que representa un costo adicional, pero fundamental para maximizar el retorno de la inversión.

El mantenimiento y soporte técnico también forma parte de los costos operativos. Aunque Wolfram Mathematica ofrece un soporte técnico robusto, se puede optar por un nivel adicional de soporte para garantizar una asistencia rápida y eficiente, esencial para mantener la continuidad de las operaciones.

Tabla.1.1*Rubros considerados en la implementación del software a nivel empresarial*

Rubro	Descripción	Estimados
Licencias y suscripciones	Costo inicial de adquisición de licencias y planes de suscripción.	\$ 9.300,00
Actualizaciones y renovaciones	Gastos recurrentes asociados con la compra de nuevas versiones y actualizaciones de productos Wólfram.	
Soporte técnico y mantenimiento	Costos de servicios de soporte técnico y mantenimiento para garantizar un funcionamiento continuo y eficiente.	
Capacitación del personal	Costos relacionados con programas de formación para que los empleados adquieran las habilidades necesarias.	\$ 2.000,00
Integración y personalización	Gastos asociados con la adaptación de Wólfram a los sistemas y aplicaciones existentes en la empresa.	\$60.000,00
Hardware y requisitos de sistema	Inversiones en hardware adicional o actualizaciones para cumplir con los requisitos del sistema de Wólfram.	
Tiempo de implementación	Recursos financieros asociados con el tiempo dedicado a la implementación, incluyendo la posible pérdida de productividad durante el proceso.	

Es importante destacar que, a pesar de estos costos. La eficiencia en la resolución de problemas complejos y la capacidad de realizar análisis sofisticados de datos han justificado la inversión. Los ahorros en tiempo y recursos, así como la mejora en la toma de decisiones basada en datos precisos y análisis avanzados, han contribuido a un retorno de inversión positivo.

Figura 3.16.*Tabla de costos por hora diurna y nocturna del personal*

	\$
Costo/horaDiaria	\$3,25
Costo/horaNocturna	\$4,85

Figura 3.17.

Tabla de horas empleadas en el proceso de asignación

	HORAS	
	1-15	15-30
Día	2	10
Semana	12	60
Mes	22	110
Año	260	1300

Figura 3.18.

Tabla de costos totales por horas empleadas en el proceso de asignación

	\$			
	Costo Diario		Costo Nocturno	
	1-15	15-30	1-15	15-30
Día	\$6,50	\$32,50	\$9,70	\$48,50
Semana	\$39,00	\$195,00	\$58,20	\$291,00
Mes	\$71,50	\$357,50	\$106,70	\$533,50
Año	\$845,00	\$4.225,00	\$1.261,00	\$6.305,00

Nota. Tabla de costos totales según horas estimadas en el proceso de asignación por día, semana, mes y año

Figura 3.19.

Flujo de costo mensual

ENERO	\$-10.830,38
FEBRERO	\$1.069,20
MARZO	\$1.069,20
ABRIL	\$1.069,20
MAYO	\$1.069,20
JUNIO	\$1.069,20
JULIO	\$1.069,20
AGOSTO	\$1.069,20
SEPTIEMBRE	\$1.069,20
OCTUBRE	\$1.069,20
NOVIEMBRE	\$1.069,20
DICIEMBRE	\$1.069,20

Las tablas que se presentan a continuación detallan los ahorros en términos de tiempo y recursos financieros logrados a través de la implementación del algoritmo. Específicamente, en la Figura 3.14, se expone el análisis del costo por hora durante los periodos diurnos y nocturnos para el personal encargado de ejecutar el proceso de asignación. La Figura 3.15, por su parte, detalla el volumen de horas requeridas para completar dicho proceso, teniendo en cuenta que, actualmente, la empresa invierte dos horas diarias durante los primeros quince días del mes y diez horas diarias durante los últimos quince días del mes en esta tarea. En la Figura 3.16, se presentan los costos asociados, desglosados por día, semana, mes y año, con base en las horas empleadas en el proceso de asignación y considerando las tarifas diferenciadas aplicables a los turnos diurnos y nocturnos. Finalmente, la Figura 3.17 ofrece un resumen de los costos mensuales relacionados con el pago de nómina del personal involucrado, así como el cálculo del valor presente de los ahorros logrados, tomando en cuenta la tasa de inflación correspondiente al mes de diciembre del año 2023.

Este análisis comprensivo permite una evaluación detallada de los beneficios económicos derivados de la optimización del proceso de asignación, subrayando la importancia de las mejoras operativas no solo en términos de eficiencia temporal sino también en la reducción significativa de los costos laborales.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El algoritmo glotón implementado en este estudio proporcionó una solución efectiva que se alinea con los objetivos operacionales de la empresa, centrados en la atención prioritaria de los clientes. Este algoritmo, caracterizado por su enfoque en la optimización local, fue específicamente diseñado para abordar la asignación de andenes a los vehículos en función de su tiempo de permanencia. La metodología aplicada prioriza la atención de los vehículos, facilitando así la liberación oportuna de los andenes. Al priorizar los vehículos con tiempos de espera prolongados, se logró una mayor eficiencia en la utilización de los espacios de carga y también una optimización significativa en el proceso de separación y preparación de la carga para los camiones subsiguientes.
- Al implementar la solución dentro de la operación se reduce el tiempo que toma realizar la asignación de los andenes, es decir ya no se tardará 2 horas diarias en los primeros 15 días del mes y 10 horas en los últimos días del mes, sino un rango de tiempo entre 10 o 15 minutos dependiendo de la cantidad de camiones a procesar.
- Se analizó tanto la situación actual de la organización como la propuesta por el algoritmo matemático, comparando ambas situaciones para ofrecer un panorama más completo al cliente. Posterior, se conoce de manera más acertada la asignación planificada a través del cronograma generado diariamente, evidenciando una mejora en la productividad en la operación de *plan & track*.

- Tras la implementación del algoritmo en la planificación diaria de las operaciones logísticas, se observó una notable disminución en los tiempos de operación para la planificación de carga, lo que llevó a una reducción significativa de las horas extras requeridas por los operadores encargados del proceso. Como resultado, se optimizaron los recursos financieros y humanos de la empresa, mejorando la productividad del personal.

4.2 Recomendaciones

- Extender el alcance del algoritmo propuesto para que se pueda utilizar sin considerar las secciones que fueron imperativas para la organización, de esta manera se puede realizar el cronograma con un día vencido, evitar los tiempos muertos que ahora ocurren por las limitaciones del proceso operativo.
- Con el fin de optimizar el rendimiento del algoritmo, es necesario disponer de un análisis exhaustivo basado en datos procedentes de una base de datos más amplia y robusta. Se recomienda que dicho análisis contemple, como mínimo, un periodo de dos años para facilitar una recopilación más extensiva de datos relativos a la operación diaria. Este enfoque permitirá lograr una estimación más precisa y una calibración efectiva de los parámetros que influyen en los resultados generados por el algoritmo. La implementación de esta estrategia de análisis de datos mejorará significativamente la capacidad de predicción y ajuste del algoritmo, permitiendo una afinación más detallada de sus variables y, por ende, una optimización de su desempeño. Este proceso de mejora continua es fundamental

para asegurar que el algoritmo se mantenga relevante y eficaz ante la evolución de las condiciones operativas y las demandas de la operación.

- En la búsqueda de alternativas más coste-efectivas para el desarrollo del algoritmo, se podría recomendar la consideración de un software que ofrezca una plataforma económica y que emplee un lenguaje de programación de mayor accesibilidad, tal como Python. No obstante, es imperativo destacar que, a pesar de los beneficios inherentes a la reducción de costos y la facilidad de uso, las capacidades ofrecidas por Python pueden resultar limitadas en comparación con las del software previamente utilizado. Sin embargo, la selección de Python como herramienta de desarrollo debe ser objeto de una evaluación meticulosa, teniendo en cuenta las posibles restricciones en términos de eficiencia, capacidad de procesamiento y compatibilidad con las necesidades específicas del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

Sirolla, M. D., & Henning, G. P. (2020). Desarrollo sistemático de modelos basados en programación con restricciones para problemas de scheduling industrial. *AJEA*.
<https://doi.org/10.33414/ajea.5.752.2020>

Morelos H. (1994). Solución al problema de Calendarización empleando estrategias evolutivas y simulación dirigida por eventos. [Tesis de grado, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey]. Repositorio institucional - Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

Tadumadze, G., Boysen, N., Emde, S., & Weidinger, F. (2019). Integrated truck and workforce scheduling to accelerate the unloading of trucks. *European Journal of Operational Research*, 278(1), 343-362. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.04.024>

Geraldi, J., & Lechter, T. (2012). Gantt Charts revisited. *International Journal of Managing Projects in Business*, 5(4), 578-594. <https://doi.org/10.1108/17538371211268889>

Optimization Problem types - Mixed-Integer and Constraint programming. (2012). solver.
[https://www.solver.com/integer-constraint-programming#:~:text=A%20mixed%2Dinteger%20programming%20\(MIP,you%20can%20define%20and%20solve](https://www.solver.com/integer-constraint-programming#:~:text=A%20mixed%2Dinteger%20programming%20(MIP,you%20can%20define%20and%20solve).

Sandoya, R. (2022). Metaheurísticas. Escuela Superior Politécnica del Litoral

Frazelle, E. H. (2002). World class Warehousing and material Handling. New York: McGraw
Hill.

Hillier, F., & Lieberman, G. (2010). *Introducción a la investigación de operaciones* (Vol. 66).
McGRAW-HILL/INTERAMERICANA.