

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

“Diseño de asignación de ubicaciones en centro de distribución de una
empresa de alimentos”

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros Industriales

Presentado por:

Kevin Steven Lascano Orlando

Jordan Iván España Ávila

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

Dedicatoria

Desde lo más profundo de mi corazón, dedico este proyecto a mi adorada hijita perruna, Kira. A pesar de partir de este mundo meses antes de comenzar esta travesía, su amor y compañía han estado conmigo desde mucho antes de mis días universitarios.

A mis padres, Wladimir y Mairita, quienes me han brindado amor, cuidado, apoyo y educación desde el día en que nací.

A mi hermana, Cristina, mi compañera de vida y una de las personas más queridas en mi corazón.

A mis abuelitos, Tito y Estela, cuyo amor y apoyo incondicional han sido un invaluable alivio emocional en mi vida.

A mi familia, tías, tíos y primos, por su cariño y aliento en cada paso que doy, y por confiar siempre en mí.

A mis amigos, con quienes he compartido risas, lágrimas y aventuras inolvidables a lo largo de mi vida.

Y a mi futura familia, que espero formar y a quienes dedico mis esfuerzos por un futuro mejor.

Esta tesis es un tributo a todos ustedes, por ser parte integral de mi historia y por darme la fuerza para alcanzar este logro. Gracias.

Jordan España Ávila

Dedicatoria

Dedico esta publicación a mi querida madre, Silvia Alexandra Orlando Vera, quien desde el primer momento que decidí tomar este reto estuvo ahí, siendo un pilar fundamental durante todo este proceso, también siendo apoyo, guía y motivación para finalizar con éxito este largo camino. A mis abuelos Lucila y Milton quienes nunca dejaron de confiar en mí, también a mis hermanos, Jefferson y Maberick, quienes siempre han apoyado mis ideas y proyectos, a mi sobrino Zac quien es mi inspiración para seguir luchando, a Anabel quien desde que la conocí me ha enseñado a vivir y amar y a mi hijo Nikola quien ahora es mi mayor logro. A mi familia en general, este logro es por todos ustedes.

Kevin Lascano Orlando

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a todos mis profesores, quienes han contribuido significativamente a mi formación académica. Quiero destacar a mi profesor de carrera, Jaime Macías A., cuyas clases despertaron genuinamente mi interés por la Ingeniería Industrial.

Agradezco de manera especial a mi consejera y profesora María Laura Retamales que, a pesar de nuestras limitadas interacciones, estas han sido sumamente enriquecedoras. He sentido que es una de las pocas personas que realmente me comprenden. Nuestras reuniones de consejería siempre han sido amenas y su disposición para orientarme de la mejor manera ha sido de gran valor. Asimismo, quiero expresar mi gratitud hacia mi tutora de proyecto, María Belén Segovia, quien desempeñó un papel fundamental al brindarme dirección y claridad en el desarrollo de este trabajo. Su compromiso y disposición para ayudarme fueron cruciales.

Por último, quiero extender mi agradecimiento a la organización que colaboró en este proyecto, así como a sus miembros: Alejandra C., Daniela R., Ámbar S., Allison F. y Daniel P. Su acogida y disposición para trabajar en conjunto fueron esenciales para llevar a cabo este trabajo de manera exitosa.

Jordan España Ávila

Agradecimientos

Agradezco a todos mis docentes quienes a lo largo de mi periodo estudiantil impartieron sus conocimientos y experiencias para que pueda ser un excelente profesional, a la empresa y todos los colaboradores que me apoyaron en cada trayecto que ha sido todo un éxito y que permitieron que plasmara todo el conocimiento adquirido hasta ahora. Agradezco, además, a todo el equipo de bienestar estudiantil y Dona futuro, quienes han brindado todo su apoyo cuando más lo necesitaba, gracias totales.

Kevin Lascano Orlando

Declaración Expresa

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Jordan Iván España Ávila y Kevin Steven Lascano Orlando damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”


Jordan España Ávila


Kevin Lascano Orlando

Evaluadores

Sofía Anabel López I. M.Sc

Profesor de Materia

María Belén Segovia N. M.Sc

Tutor de proyecto

Resumen

El centro de distribución de una multinacional de productos alimentarios enfrenta un almacenamiento desordenado y empírico, lo que provoca ineficiencias notables, como la ubicación alejada de productos de alta rotación con respecto a los andenes de despacho. Para abordar este problema, se aplicó la metodología DMADV.

Los requerimientos y restricciones del cliente llevaron establecer especificaciones de diseño, incluyendo la asignación de ubicaciones a al menos el 30% de los SKU y la reducción de distancias y tiempos de recorrido. Se recolectaron y analizaron datos, se desarrolló un mapa de calor por ABC para visualizar problemas y áreas de mejora.

Como solución, se propuso una estrategia basada en minería de datos, desarrollada en Python. Donde el algoritmo a priori identificó patrones de relación entre productos,. La clasificación ABC ubicó productos de acuerdo con su rotación, y la categorización por pesos asignó los productos más pesados a niveles bajos de los racks.

Los resultados muestran el cumplimiento de los requisitos de diseño, con una reducción del 9% en distancias recorridas, un aumento del 9% en productividad implicando una reducción de tiempos.

Este proyecto ejemplifica cómo la metodología DMADV puede abordar con éxito problemas logísticos, generando mejoras en la operación de un CEDI.

Palabras clave: Minería de datos, Picking, Clasificación ABC, DMADV.

Abstract

The distribution center of a multinational food products company faces disordered and empirical storage, resulting in notable inefficiencies, such as the distant placement of high-rotation products from the dispatch docks. To address this issue, the DMADV methodology was applied.

Client requirements and constraints led to the establishment of design specifications, including the allocation of locations to at least 30% of the SKUs and the reduction of distances and travel times. Data were collected and analyzed, and an ABC-based heat map was developed to visualize issues and areas for improvement.

As a solution, a data mining-based strategy was proposed, developed in Python. The a priori algorithm identified patterns of relationship between products. The ABC classification placed products according to their rotation, and the weight categorization assigned heavier products to lower rack levels.

The results demonstrate compliance with design requirements, with a 9% reduction in traveled distances, a 9% increase in productivity, and a reduction in processing times. This project exemplifies how the DMADV methodology can successfully address logistics issues, leading to improvements in the operation of a Distribution Center.

Keywords: Data Mining, Picking, ABC Classification, DMADV.

Índice general

Resumen.....	I
<i>Abstract</i>	II
Índice general.....	III
Simbología	VII
Índice de figuras.....	VIII
Índice de Tablas	X
Capítulo 1.....	1
1 Introducción.....	2
1.1 Descripción del problema.....	3
1.2 Justificación del problema.....	4
1.2.1 Alcance del proyecto.	5
1.3 Objetivos	7
1.3.1 Objetivo general	7
1.3.2 Objetivos específicos.....	7
1.4 Marco teórico	7
1.4.1 DMADV	7
1.4.2 QFD	8
1.4.3 Modelo de Optimización	8
1.4.4 Inventario.....	8
1.4.5 SLAP	8

1.4.6	Minería de datos	8
1.4.7	Reglas de asociación	9
1.4.8	Heurística.....	9
1.4.9	Algoritmo a priori.....	9
1.4.10	Soporte.....	10
1.4.11	Confianza.....	10
1.4.12	Lift	10
1.4.13	Clasificación ABC.....	10
Capítulo 2.....		12
2	Metodología.....	13
2.1	Definir	13
2.1.1	Voz del cliente.....	13
2.1.2	CTQ Tree (árbol crítico para la calidad)	16
2.1.3	QFD	17
2.1.4	Especificaciones de diseño	17
2.1	Medir	18
2.1.5	Plan de recolección de datos	18
2.1.6	Verificación de confiabilidad de los datos.	19
2.1.7	Especificaciones técnicas de los equipos	20
2.1.8	Número de operarios	21
2.1.9	Especificaciones de los SKU's.....	22

2.1.10	Cantidad de ubicaciones en racks.....	23
2.1.11	Número de andenes de carga y descarga.....	23
2.1.12	Número de accidentes e incidentes reportados en picking.....	24
2.1.13	Productos ingresados en un periodo de tiempo.	25
2.1.14	Especificaciones técnicas de los racks	25
2.2	Análisis.....	26
2.2.1	Situación Actual	26
2.2.2	Propuestas de diseño	28
2.2.2.1	Propuesta 1 : Asignación de ubicaciones de almacenamiento multinivel utilizando heurística y modelo de optimización basado en tres etapas.....	28
2.2.2.2	Modelo matemático-propuesta 1	30
2.2.2.3	Propuesta 2: Asignación de ubicaciones de almacenamiento, usando análisis de minería de datos, clasificación ABC y categorización por pesos de pallets de productos. 33	
2.2.2.4	Modelo matemático-propuesta 2.....	34
2.2.3	Análisis financiero.....	39
2.2.4	Cumplimiento de las propuestas con especificaciones de diseño y restricciones. 44	
2.2.5	Selección y desarrollo de la propuesta de diseño	46
2.2.6	Plan de implementación de prototipo	50
	Capítulo 3.....	52
3	Resultados y análisis.....	53

3.1	Resultados definitivos del modelo	53
	Tabla 3.2 Resultados obtenidos de la aplicación del modelo.....	58
3.2	Análisis de costos	60
3.2.1	Pilar económico	61
3.2.2	Pilar social	62
3.2.3	Pilar ambiental.....	62
Capítulo 4.....		63
4	Conclusiones.....	64
4.1	Recomendaciones.....	66
Referencias.....		68

Simbología

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del litoral
SKU	Stock keeping unit.
CEDI	Centro de Distribución
AIX	Índice de asociación entre productos
SAP	Systemanalyse Programmentwicklung
QFD	Quality Function Deployment
Cm	Centímetros
CTQ	Árbol crítico de la calidad
SLAP	Storage Location Assignment Problem

Índice de figuras

Figura 1.1 Diagrama SIPOC	6
Figura 2.1 Árbol crítico para la calidad	16
Figura 2.2 Función despliegue de la calidad.....	17
Figura 2.3 Plan de recolección de datos.....	18
Figura 2.4 Especificaciones técnicas de montacargas	20
Figura 2.5 Especificaciones transpaleta eléctrico	21
Figura 2.6 Cantidad de operarios en el almacén	21
Figura 2.7 Verificación de cantidad de Racks	23
Figura 2.8 Conteo de andenes de carga y descarga	24
Figura 2.9 Índice de Accidentabilidad del CEDI.....	24
Figura 2.10 Verificación de SKU's ingresados	25
Figura 2.11 Especificaciones técnicas de los Racks	25
Figura 2.12 Mapa de calor actual.....	26
Figura 2.13 Categorización de los SKU's por su peso en Kg.....	27
Figura 2.14 Categorización de los SKU's por su rotación.....	27
Figura 2.15 Etapas de propuesta 1	28
Figura 2.16 Segmentación de SKU's	29
Figura 2.17 Etapas de propuesta 2	33
Figura 2.18 Módulos creados en Python.....	47
Figura 2.19 Resultados extraídos con minería de datos.....	48
Figura 2.20 Resultado de ejecución del modelo	50
Figura 3.1 Resultados mostrados en FlexSim.....	53
Figura 3.2 Mapa de calor de rotación y pesos de ambiente 1	54
Figura 3.3 Mapa de calor de rotación y pesos de ambiente 2	55

Figura 3.4 Mapa de calor de rotación y pesos de climatizado 1	56
Figura 3.6 Distancia en metros recorrida con 1570 Pallets transportados a sus andenes	57
Figura 3.5 Total Pallets transportados a andenes - 1 turno de trabajo	57
Figura 3.7 Distancia promedio recorrida con 1570 Pallets transportados a sus andenes.	58
Figura 3.8 Total Pallets transportados a andenes en 1 turno de trabajo.....	59

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Voz del cliente	13
Tabla 2.2 Restricciones del modelo	15
Tabla 2.3 Notaciones utilizadas en la fórmula de tamaño de muestra.....	19
Tabla 2.4 Comparación de datos.....	22
Tabla 2.5 Costos asociados a la implementación del modelo.....	39
Tabla 2.6 Inversión inicial	40
Tabla 2.7 Costos y beneficio estimado anual.....	40
Tabla 2.8 Porcentaje de interés de instituciones privadas [Fuente Primicias].....	40
Tabla 2.9 Costos aproximados de equipos montacargas y transpaletas.....	41
Tabla 2.10 Flujo de caja.....	42
Tabla Metodología.2.11 Beneficios de propuesta.....	42
Tabla 2.12 Matriz de decisión A.....	44
Tabla 2.13 Matriz de decisión B	45
Tabla 2.14 Información acerca de los pallets de productos	49
Tabla 2.15 Plan de implementación de prototipo	51
Tabla 3.1 Resultados de simulaciones	57
Tabla 3.2 Resultados obtenidos de la aplicación del modelo	58
Tabla 3.3 Costos fijos, variables y de oportunidad del diseño.....	60
Tabla 3.4 beneficios – ahorro del 9% en el costo de los equipos y montacargas	60
Tabla 3.5 Flujo de caja 5 años	61
Tabla 3.6 TIR y VAN del diseño	61

Capítulo 1

1 Introducción

Un centro de distribución (CEDI) de la ciudad de Guayaquil actualmente trabaja con más de 200 SKU's a nivel de bodega y una operación de despacho diaria de aproximadamente 160 toneladas en dos turnos de trabajo, por lo que existe un flujo constante de materiales. Además se conoce que actualmente tiene un sistema de clasificación ABC para los productos almacenados, pero este está obsoleto e incluso no se respeta a la hora de almacenar el producto, por lo que la organización ha levantado la necesidad de encontrar una solución eficiente para almacenar sus productos.

El objetivo principal de este estudio es diseñar un modelo de asignación de ubicaciones que optimice la organización del almacenamiento, reduzca distancias de recorrido de picking. Para lograrlo, se plantean objetivos específicos, como desarrollar un mapa de calor visual que refleje la ubicación actual de los materiales según su rotación y peso, establecer diferentes opciones de diseño y evaluar su viabilidad, además de analizar los resultados mediante simulación.

El presente documento se estructura en cuatro capítulos que abordan de manera sistemática la investigación. En el Capítulo 1, se introduce la problemática a resolver, se justifica su relevancia y se establecen los objetivos generales y específicos. El Capítulo 2 detalla la metodología empleada para llevar a cabo la investigación. En el Capítulo 3, se presentan los resultados obtenidos y se realiza un análisis de estos. Finalmente, en el Capítulo 4, se exponen las conclusiones derivadas de la investigación y se ofrecen recomendaciones para abordar la problemática identificada.

1.1 Descripción del problema

El Centro de Distribución de alimentos, con una prestigiosa trayectoria de más de 157 años en el mercado, se ha destacado por su sobresaliente desempeño en ventas y la puntualidad en las entregas. No obstante, actualmente enfrenta desafíos operativos que requieren la implementación de un sistema de asignación de ubicaciones fijas para sus SKU's, con el objetivo de mantener su posición competitiva. Dentro de su amplio catálogo de más de 300 productos, aproximadamente 233 corresponden a SKU's de tipo "pallet completo" que carecen de una ubicación definida. Esta situación puede dar lugar a problemas como retrabajos, exceso de inventario y costos operativos elevados.

Actualmente, el proceso de asignación de ubicaciones en racks a los diferentes SKU's que ingresan al centro de distribución, no sigue un patrón establecido, pues al momento que se tienen los pallets listos para su acomodo, el montacarguista es quien, en base a su conocimiento, asigna la ubicación en cuanto encuentra un espacio libre en un espacio aleatorio, basándose en ciertos criterios de "orden" que actualmente se tiene en el almacén, pues en todas las zonas, existen secciones en donde se almacenan productos "especiales", como por ejemplo en zona ambiente en los racks que están al principio se almacenan galletas y los racks de los últimos pasillos almacenan materiales culinarios, este es el único "orden" que podría mencionar en esta ocasión. En conclusión, el operario asigna la ubicación de los SKU's en base a su experiencia y su visión, lo que ocasiona recorridos y tiempo extra, debido a la búsqueda insaciable de una ubicación para dicho SKU.

Esto también representa un problema porque al no tener una ubicación previamente definida, el montacarguista puede y se ha registrado que ha colocado pallets muy pesados, en niveles superiores de racks, lo cual representa un problema en seguridad, pues estas ubicaciones más altas tienen menos resistencia al peso. Esto se evidencia en un mapa de calor por pesos

desarrollado, además mediante el mapa de calor por rotación, se evidencia que actualmente existe productos de alta rotación, categorizados como “SKU’s tipo A”, ubicados al final de los pasillos y también se registra producto de categorizados como “SKU’s tipo C”, ubicados cerca de los andenes, lo cual afirma la existencia de altos recorridos que pueden ser optimizados.

1.2 Justificación del problema

La justificación para abordar este problema es innegable, ya que las consecuencias de mantener la situación de desorden actual pueden traducirse en pérdidas sustanciales para la empresa. El almacenamiento desordenado y empírico en el CEDI no solo conlleva ineficiencias operativas, sino que también tiene un impacto directo en los costos operativos de la organización.

En primer lugar, la ausencia de una asignación de ubicaciones definida implica un uso ineficiente del espacio de almacenamiento disponible en el centro. Esto resulta en una ocupación inadecuada de los racks y áreas de almacenamiento, lo que a su vez lleva al desorden y al almacenamiento caótico de los SKU's. Como consecuencia, se produce una necesidad constante de retrabajos para ubicar y recuperar productos, lo que aumenta el tiempo y los recursos empleados en las operaciones diarias.

Además, la asignación de ubicaciones basada en la experiencia de los montacarguistas y su criterio personal genera recorridos innecesarios y tiempos extra en la manipulación de los productos. Esto se traduce en un aumento de los costos operativos debido al tiempo adicional invertido en la búsqueda de ubicaciones y al desplazamiento constante de los empleados.

Por otro lado, la falta de una ubicación definida puede llevar a la colocación de pallets pesados en niveles superiores de los racks, lo que plantea serios riesgos de seguridad. Estas ubicaciones más altas suelen tener una menor capacidad de resistencia al peso, lo que aumenta la probabilidad de colapsos y accidentes. Esta situación no solo pone en peligro la integridad de los trabajadores, sino que también puede resultar en daños a la mercancía y pérdidas financieras.

En síntesis, el proyecto debe realizarse porque permite:

Optimización de recursos: Un modelo de asignación de ubicaciones bien diseñado permite optimizar el uso de los recursos disponibles dentro del CEDI, como el espacio de almacenamiento, la capacidad de carga y descarga, y la eficiencia de los procesos logísticos. Esto ayuda a minimizar los costos operativos y maximizar la eficiencia en la cadena de suministro.

Entre los beneficios tenemos, la reducción de costos operativos y una mayor eficiencia en la cadena de suministro, lo que a su vez incrementa la satisfacción del cliente. Los aspectos prácticos incluyen una distribución óptima del espacio de almacenamiento, mejora en el flujo de materiales, reducción de tiempos de manipulación y transporte, una mejora en las operaciones de carga y descarga, menor probabilidad de errores en pedidos y una mayor capacidad de expansión.

1.2.1 Alcance del proyecto.

Con el objetivo de comprender de mejor manera la situación actual del centro de distribución, se procedió a realizar el diagrama SIPOC (proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes) para dar un enfoque más detallado del lugar donde se pretende resolver el problema.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta una representación visual del alcance integral de este proyecto. En ella, se destacan tres etapas fundamentales que forman parte de los procesos que existen dentro del Centro de distribución (CEDI).

- Organización de SKU's
- Gestión de inventarios y control de existencias
- Preparación de ordenes

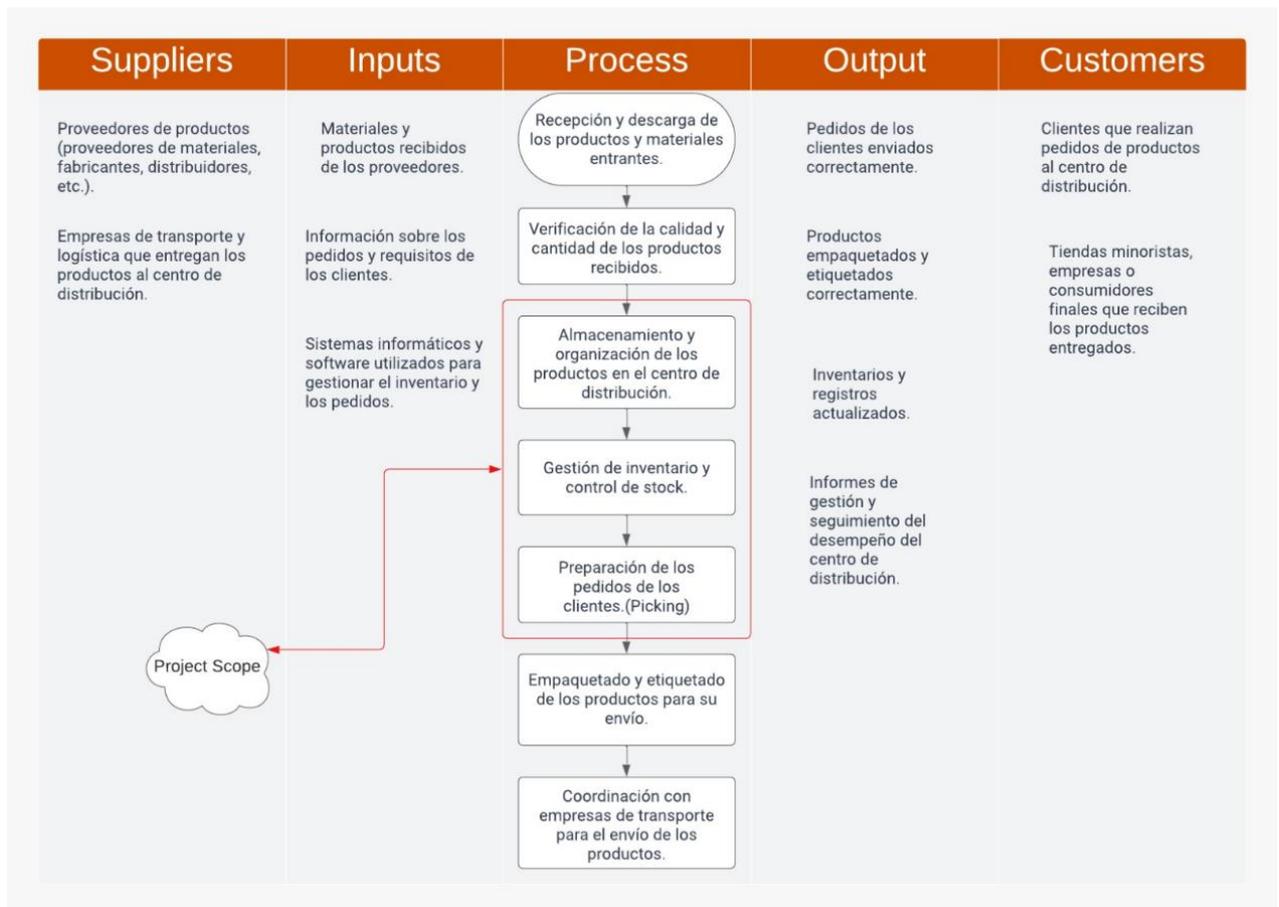


Figura 1.1 Diagrama SIPOC

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un modelo de asignación de ubicaciones aplicable al almacenamiento de productos del centro de distribución, con el fin de establecer un estándar eficiente en la organización de los materiales, minimizar los tiempos y recorridos de picking, mantener un entorno de trabajo seguro y lograr una operación más eficiente en toda la organización.

1.3.2 Objetivos específicos

- Desarrollar un mapa de calor visual que represente el estado actual de la ubicación de los materiales en función de la rotación y el peso de cada producto.
- Levantar los requerimientos del diseño para la evaluación de la opción a elegir.
- Establecer diferentes opciones de diseño, teniendo en cuenta todos los requisitos.
- Evaluar la viabilidad de las diferentes opciones de diseño.
- Analizar los resultados del diseño mediante simulación.

1.4 Marco teórico

1.4.1 DMADV

Es una metodología utilizada en el ámbito de la gestión de calidad y mejora de procesos. El acrónimo DMADV proviene de las palabras en inglés correspondientes a las cinco fases que componen esta metodología: Define, Measure, Analyze, Design, y Verify. Cada una de estas fases representa un paso clave en el proceso de desarrollo y diseño de nuevos productos o servicios con un enfoque en la calidad y la satisfacción del cliente. Se utiliza principalmente en situaciones en las que se busca crear un producto o servicio completamente nuevo o realizar mejoras significativas en uno existente, asegurando que se cumplan los requisitos del cliente y que se alcance un alto nivel de calidad desde el inicio.

Tiene como objetivo crear un producto de calidad teniendo en cuenta los requisitos del cliente (Majumdar & Selvi, 2014)

1.4.2 QFD

Quality Function Deployment. Es una práctica para diseñar tus procesos en respuesta a las necesidades del cliente. Este traduce lo que el cliente quiere en lo que la organización produce. (Stephen Uselac, 1993)

1.4.3 Modelo de Optimización

Esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja (por ejemplo, la evolución económica de un país), que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento. (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 2014)

1.4.4 Inventario

Es el conjunto de productos o recursos utilizados dentro de una organización y estos pueden ser: materias primas, productos terminados/en proceso, repuestos, entre otros que son empleados para satisfacer una demanda. (Caldentey & Pizarro, s.f.)

1.4.5 SLAP

El SLAP, o Problema de Asignación de Ubicación de Almacenamiento, se refiere al desafío de determinar las ubicaciones óptimas de almacenamiento para los productos en un almacén. Al considerar factores como la frecuencia de demanda, el tamaño y el peso de los productos, se pueden asignar ubicaciones estratégicas para minimizar los tiempos de selección de pedidos y optimizar la eficiencia operativa. Por ejemplo, utilizando técnicas de SLAP, se puede asignar productos de alta rotación a ubicaciones cercanas a las zonas de preparación de pedidos para agilizar el proceso. (Brynzér, 1996)

1.4.6 Minería de datos

El Data Mining, o minería de datos, se refiere al proceso de extraer patrones, relaciones y conocimientos significativos de grandes conjuntos de datos. Mediante el uso de algoritmos y

técnicas como la clasificación, la segmentación y la regresión, es posible descubrir tendencias ocultas y relaciones complejas en los datos. Por ejemplo, en el campo del comercio electrónico, se puede aplicar Data Mining para identificar patrones de compra y ofrecer recomendaciones personalizadas a los clientes. (Han, 2001)

1.4.7 Reglas de asociación

Las reglas de asociación son patrones o relaciones que describen la coocurrencia de elementos en un conjunto de datos (Srikant & Agrawal, 1994). Un ejemplo común es el análisis de cestas de compra, donde las reglas de asociación permiten descubrir qué productos suelen comprarse juntos. Por ejemplo, se puede encontrar que los clientes que compran pañales también tienden a comprar productos para bebés, lo que puede ser útil para estrategias de marketing y promociones cruzadas. (Liu, Wang, & Fu, 1999)

1.4.8 Heurística

Se califica de heurística un procedimiento para el que se tiene un alto grado de confianza en que encuentra soluciones de alta calidad con un coste computacional razonable, aunque no se garantice su optimalidad o su factibilidad, e incluso, en algunos casos, no se llegue a establecer lo cerca que se está de dicha situación. (Suárez)

1.4.9 Algoritmo a priori

El algoritmo Apriori es ampliamente utilizado en la minería de datos para descubrir conjuntos de elementos frecuentes en conjuntos de datos transaccionales. Por ejemplo, en un conjunto de datos de ventas, el algoritmo Apriori puede revelar qué productos se compran juntos con mayor frecuencia. Al establecer un umbral de soporte, se identifican los conjuntos de elementos frecuentes, lo que permite generar reglas de asociación valiosas para la toma de decisiones empresariales. (Agrawal, 1993)

1.4.10 Soporte

El soporte es una medida utilizada en la minería de reglas de asociación para evaluar la frecuencia de aparición de un conjunto de elementos en un conjunto de datos. Se expresa como un porcentaje y representa la proporción de transacciones que contienen ese conjunto de elementos. Por ejemplo, si en un conjunto de datos de ventas el soporte de un conjunto de elementos {A, B, C} es del 5%, significa que el 5% de las transacciones incluyen los elementos A, B y C juntos. (Agrawal, 1993)

1.4.11 Confianza

La confianza es una medida utilizada en la minería de reglas de asociación para evaluar la fiabilidad o fortaleza de una regla de asociación. Se expresa como un porcentaje y representa la probabilidad condicional de que el consecuente ocurra dado el antecedente. Por ejemplo, si la confianza de una regla de asociación $\{A, B\} \rightarrow \{C\}$ es del 80%, significa que el 80% de las veces que A y B aparecen juntos, también se encuentra el elemento C. (Agrawal, 1993)

1.4.12 Lift

El lift es una medida utilizada en la minería de reglas de asociación para evaluar la importancia y el poder predictivo de una regla de asociación. Indica la relación entre la confianza observada de una regla y la confianza esperada si los elementos fueran independientes. Un valor de lift mayor que 1 indica una correlación positiva y sugiere una mayor influencia entre los elementos en la regla de asociación. Por ejemplo, si el lift de una regla $\{A, B\} \rightarrow \{C\}$ es 2, indica que la probabilidad de comprar C cuando A y B están presentes es el doble de la probabilidad esperada si A y B fueran independientes. (Agrawal, 1993)

1.4.13 Clasificación ABC

La clasificación ABC es una técnica que divide elementos en categorías A, B y C basándose en su importancia relativa. Los elementos en la categoría A son los más críticos en

valor, aunque representan un pequeño porcentaje del total, mientras que los de la categoría C son los menos relevantes. (Chase & Robert Jacobs, 2009)

Capítulo 2

2 Metodología.

En este proyecto se utilizó la metodología DMADV, esto se realizó, debido a que es la creación de un nuevo producto. A continuación, se explica el contenido de cada etapa:

2.1 Definir

Para esta primera etapa se requiere escuchar las necesidades del cliente las cuales serán de mucha importancia para delimitar el problema actual al que se enfrentan y en base a esas necesidades establecer especificaciones de diseño de manera adecuada.

2.1.1 Voz del cliente

La herramienta “la voz del cliente” se centra en capturar la esencia de las verdaderas necesidades del cliente tomando en cuenta los diferentes puntos de vista, para poder captar de manera óptima lo que se necesita se procedió a realizar un “focus group” a los miembros principales del CEDI, se envió una encuesta virtual a los operarios y por último se realizó una entrevista a miembros de la institución obteniendo lo siguiente:

<i>Entrevistas</i>	<ul style="list-style-type: none">• Mejorar la organización del almacenamiento y evitar el almacenamiento caótico de SKU (4 veces).• Reducir el tráfico de personas durante el proceso de picking.<ul style="list-style-type: none">• Reducir las distancias de desplazamiento en el proceso de picking.• Evitar quedarse sin ubicaciones disponibles• Reducir el tiempo de desplazamiento en la zona de picking.
<i>Focus group</i>	<ul style="list-style-type: none">• Disponer de una mejor distribución de las SKU del inventario• Conocer la situación actual de las ubicaciones de SKU's<ul style="list-style-type: none">• Reducir los costes• Reducir el tiempo medio del operario para seleccionar una SKU de mantenimiento de los equipos, el suelo y la estructura del almacén
<i>Encuestas</i>	<ul style="list-style-type: none">• Ahorro de costes y recursos.• Orden y organización eficiente.• Mantener el orden en las áreas operativas.• Mejorar el proceso de picking en términos de tiempo y errores.

Tabla 2.1 Voz del cliente

Se aprecia que entre los tres tipos de recolección de necesidades recolectadas algunos caen en la misma categoría, es por ello, que se le aplicó un filtro para establecer los

requerimientos potenciales que cumplan con todas las necesidades. A continuación, se presentan las principales necesidades:

- Mejore la organización del almacenamiento y evite el almacenamiento caótico de SKU.
- Mejorar el flujo de operadores, especialmente en momentos de concentración (alta demanda).
- Reducir las distancias de desplazamiento en el proceso de picking.
- Reducir la frecuencia de errores en la recogida de productos para su expedición.
- Evite quedarse sin racks disponibles.

Además, se obtuvo la siguiente información de los clientes, muy importante ya que brinda mayor contexto de la organización y se plantean ciertos requerimientos del modelo.

El almacén opera en 2 turnos cada uno de 8 horas, aunque en épocas de alta demanda, estas horas pueden extenderse e incluso trabajar fines de semana. Para las operaciones del almacén se cuenta con 61 empleados entre personal administrativo y operativo, distribuidos en ambos turnos, además poseen maquinaria especializada para este tipo de industria tales como: montacargas, transpaletas eléctricas y manuales, entre otras.

También se manifiesta que existen estacionalidades en la rotación de productos, específicamente dos a lo largo del año.

Cuenta con 2 áreas dentro de su almacén, dividido en 4 secciones: Áreas de “Ambiente 1 y 2” y Áreas de “Climatizado 1 y 2”, además la organización cuenta con el sistema SAP para el manejo de la información y el control de inventario.

Los clientes clave de la organización incluyen a los Analistas de Logística y Distribución, siendo uno de ellos el cliente principal de este proyecto. Además, contamos con el respaldo de la jefa en calidad de patrocinadora. Estos actores desempeñan un papel

fundamental en el desarrollo de las distintas etapas de este proyecto, ya que proveen la información indispensable para cada una de sus fases.

Por último, también se obtuvo las restricciones del diseño, mostrada en la siguiente tabla.

Restricción	Descripción
Respetar el espacio físico del almacén	No se realizarán cambios en las dimensiones del almacén.
Mantener el diseño y la configuración de los racks	No se realizarán cambios en el diseño y la configuración de los racks.
Respetar la zonificación y asignación de SKU	Las zonas del almacén (ambiente y climatizado) mantendrán su ubicación actual, y los productos deben asignarse a sus respectivas zonas.
Estándares de seguridad	Se deben cumplir los requisitos de seguridad y regulaciones en el centro de distribución.
Especificaciones técnicas de los racks	Capacidad de peso máxima, número de niveles, alturas de ubicación.
Especificaciones técnicas de pallets por SKU	Altura, peso, ancho (cada ubicación debe poder acomodar productos con estos parámetros).
Ubicaciones de los racks	Considerar la cantidad total de ubicaciones en los racks, excepto los ubicados en climatizado 1; además solo se consideran los racks dobles.
Materiales no considerados	Materiales no inventariados, alimentos para mascotas, materiales de embalaje, productos de fecha corta, calidad.
Zonificación de los racks	Mantener zonas de ubicaciones para "sobrantes," "picking," "salvamento," y "calidad."
Categorías de SKU que no deben colocarse juntas	Ciertos SKU, según su categoría, no deben colocarse juntos debido a problemas de olor que puedan afectar el sabor de los productos adyacentes. Este es el caso de los productos culinarios, que deben almacenarse del pasillo 11 al 14.
Impacto económico bajo	Se requieren soluciones rentables y eficientes sin un impacto económico significativo.

Tabla 2.2 Restricciones del modelo

2.1.2 CTQ Tree (árbol crítico para la calidad)

La Figura 2.1 ilustra la conexión vital entre las necesidades del cliente y las especificaciones técnicas, utilizando la herramienta CTQ Tree para lograr una traducción precisa. La Triple línea Base, compuesta por rendimiento, costo y tiempo, es clave para evaluar la viabilidad del proyecto.

La CTQ Tree permite una mejor comprensión de las expectativas del cliente, clasificando especificaciones relevantes y enfocando el esfuerzo en aspectos fundamentales, asegurando la satisfacción del cliente y el éxito del producto final.

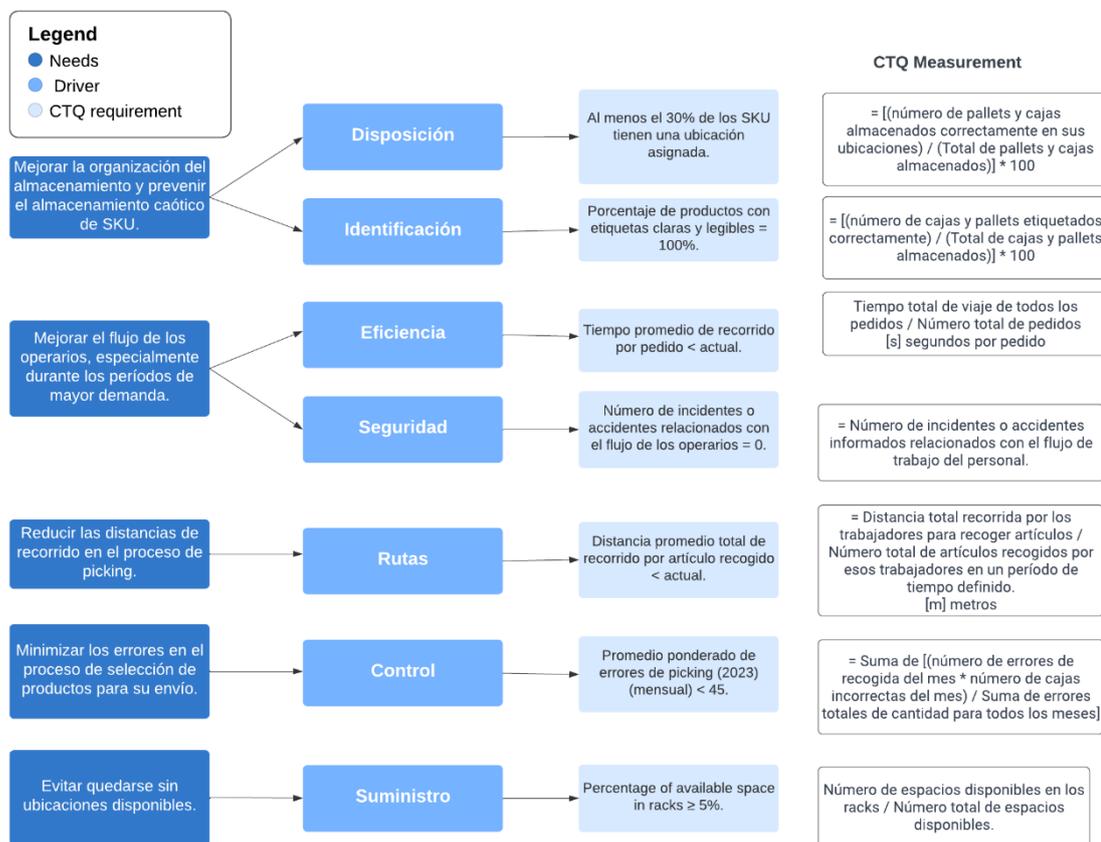


Figura 2.1 Árbol crítico para la calidad

Las necesidades se han transformado en indicadores de desempeño, los cuales serán evaluados al concluir el proyecto. Esta evaluación proporcionará al almacén estudiado una base sólida para la implementación de mejoras en el futuro.

2.1.3 QFD

2.1.4 Especificaciones de diseño

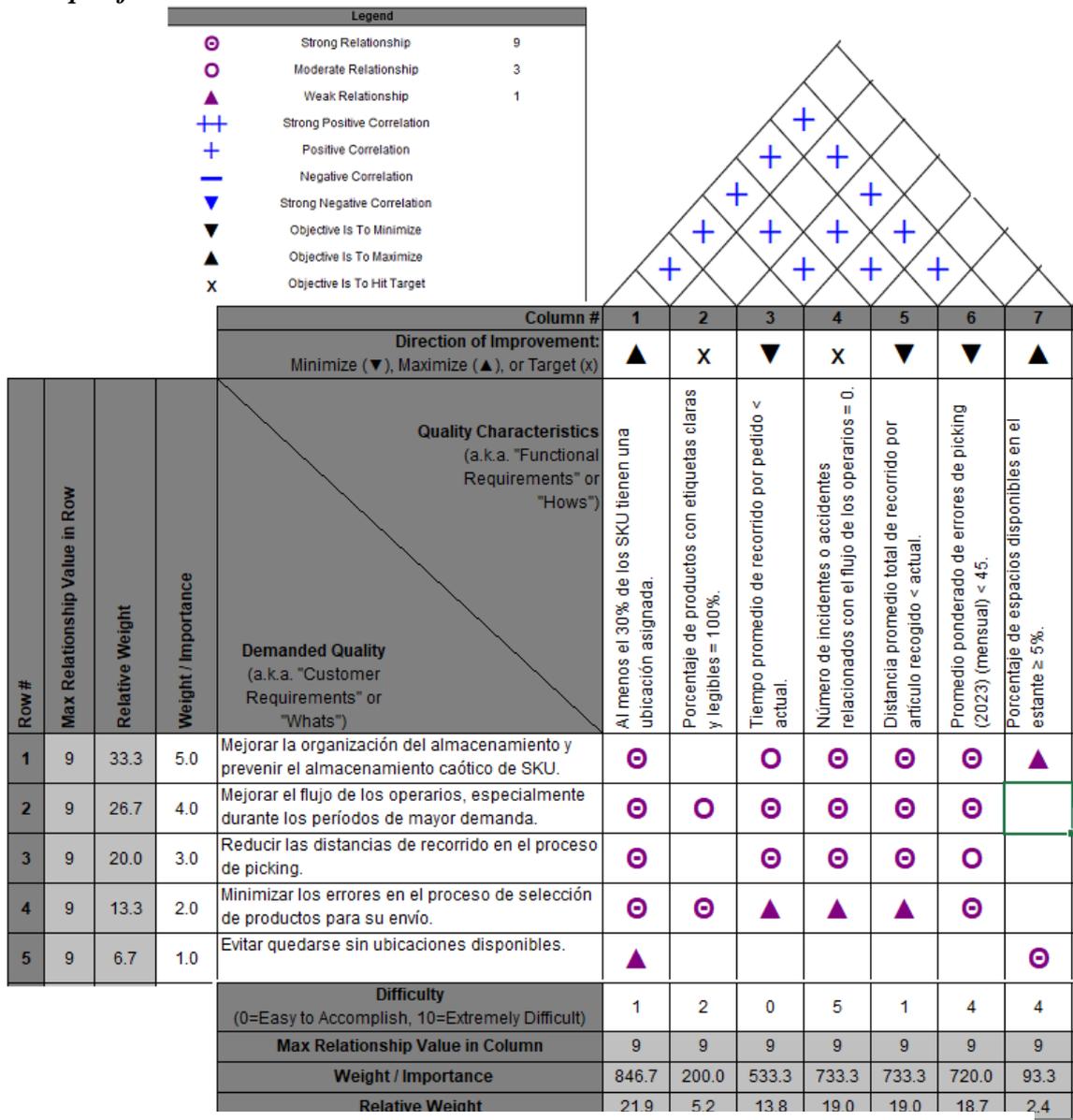


Figura 2.2 Función despliegue de la calidad

De lo obtenido en el QFD se pudieron obtener las siguientes especificaciones de diseño:

- Al menos el 30% de los SKU tienen una ubicación asignada.
- El tiempo medio de desplazamiento de los operarios por pedido debe ser inferior a la media actual.
- La distancia total media recorrida por artículo recogido debe ser inferior al valor actual.

2.1 Medir

En esta fase se han recopilado datos esenciales necesarios para la elaboración del nuevo modelo y se validaron mediante varios métodos, como la comparación de fuentes y análisis estadísticos, sentando así las bases para tomar decisiones informadas en el proceso de diseño.

2.1.5 Plan de recolección de datos

Nomenclatura	CUANDO	COMO		PORQUE?	QUE			DONDE
	Momento de Recolección	Método de Recolección	Método de Validación	Razón de Recolección	Significado Operacional	Unidad de Medida	Tipo de Datos	Lugar de Recolección
x1	Etapa de medicion	Proporcionado por la organización - registros del SAP	Comparación de fuentes: Registros del sistema SAP vs. otros sistemas internos o documentos de envío	Análisis ABC, revisar variabilidad y posibles pronósticos.	Despacho historico de sku's	Unidades, cajas, pallets	Quantitative- Discreet	Almacen- oficinas
x2	Etapa de medicion	Registros del proveedor del producto	Comparación de fuentes	Para hacer la optimizacion correspondiente en terminos de peso y volumen	Dimensiones de unidades de carga de los SKU	Metros, metros cubicos	Quantitative- Continuous	Almacen- oficinas
x3	Etapa de medicion	Informacion dada por el fabricante	Comparación de fuentes	Para conocer restricciones de altura, capacidad de equipos y hacer la simulacion	Especificaciones tecnicas de equipos montacargas	metros, kg	Quantitative- Continuous	Almacen- oficinas
x4	Etapa de medicion	Registros de la organización	Comparación de fuentes	Hacer simulacion	Numero de operarios	Units	Quantitative- Discreet	almacen
x5	Etapa de medicion	Informacion proporcionada por el proveedor	Comparación de fuentes	Para optimizar el peso distribuido en los racks , seguridad	Masa de SKUs	kg	Quantitative- Continuous	Almacen- oficinas
x6	Etapa de medicion	Datos dados por el fabricante y la prganizacion, registros manuales	Comparación de fuentes	Comocer cuanto peso soportan, alturas y espacios, hacer simulacion	Especificaciones de racks	metros, kg	Quantitative- Continuous	Almacen- oficinas
x8	Etapa de medicion	Datos proporcionados por la organizacion	Comparación de fuentes	Generar restricciones del modelo	Cantidad de ubicaciones en racks	unidades	Quantitative- Discreet	Almacen
x9	Etapa de medicion	Registro manual, Autocad proporcionado	Comparación de fuentes	Mejorar la distribucion de SKU	Número de andenes de carga y descarga	unidades	Quantitative- Discreet	Almacen
x10	Etapa de medicion	Timestudy Stopwatch and Manual Records/ Statistics for the calculation of N	Muestreo y analisis estadistico	Conocer el valor del indicador de tiempo, obtener estadisticas,hacer simulacion	Tiempos de desplazamiento por pedido	Segundos	Quantitative- Continuous	Almacen
x11	Etapa de medicion	Manual Records/ Statistics for the calculation of N	Muestreo y analisis estadistico	Conocer el valor del indicador de distancias, obtener estadisticas,hacer simulacion	Distancias recorridas por item recolectado	metros	Quantitative- Continuous	Almacen
x12	Etapa de medicion	Datos proporcionados por la organización, registros manuales	Comparación de fuentes	Calcular el indicador de errores, obtener estadisticas y hacer simulacion	Cantidad de errores en picking	unidades	Quantitative- Discreet	Almacen
x13	Etapa de medicion	Datos proporcionados por la organización, registros	Comparación de fuentes	Calcular el indicador de accidentes e incidentes , obener estadisticas y hacer simulacion	Numero de accidentes e incidentes reportados en picking	Unidades	Quantitative- Discreet	Area de picking
x14	Etapa de medicion	Proporcionado por la organización - registros del SAP	Comparación de fuentes	Obtener el porcentaje de ocupacion	Cantidad de productos almacenados	unidades	Quantitative- Discreet	Almacen
x15	Etapa de medicion	Proporcionado por la organización - registros del SAP	Comparación de fuentes	Obtener estadisticas, hacer simulacion	Cantidad de productos ingresados al almacen en un periodo de tiempo	unidades	Quantitative- Discreet	Almacen

Figura 2.3 Plan de recolección de datos

Se identificó las variables pertinentes considerando las especificaciones de diseño y en la revisión de literatura previa observar la Figura 2.3 .Estas variables se detallaron en un plan de recopilación de datos que respondía a preguntas como qué datos se necesitaban, cuándo y dónde se recopilarían, cómo se realizaría la observación y recolección de datos, quiénes serían los responsables, entre otros aspectos relevantes.

2.1.6 Verificación de confiabilidad de los datos.

Para nuestra obtener la muestra se utilizó la siguiente formula con un nivel de confianza del 95%

Notación	Concepto	Valor
P	proporción de población sin características de estudio	0,2
1-p	proporción de población con características de estudio	0,80
N	tamaño de la población	478
e	error permitido	0,1
Z	número de desviaciones estándar que una determinada proporción se aleja de la media (nivel de confianza del 95 %)	1,645

Tabla 2.3 Notaciones utilizadas en la fórmula de tamaño de muestra

$$n = \frac{\frac{Z^2 * p(1 - p)}{e^2}}{1 + \frac{Z^2 * p(1 - p)}{e^2 * N}} \quad (2-1)$$

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (1-p)}{e^2 N + Z^2 * p * (1-p)} = \frac{478 * 1,645^2 * 0,2 * (1-0,2)}{0,1^2 * 478 + 1,645^2 * 0,2 * (1-0,2)} = 40 \text{ SKUS}$$

Se asume que la proporción de SKU's que no serán considerados por razones antes mencionadas del 15%, la fórmula de aproximación asume que la población es infinita o lo suficientemente grande como para no requerir un ajuste adicional.

2.1.7 Especificaciones técnicas de los equipos

Se comparó los datos de la organización, con los proporcionados con el fabricante.



Motor eléctrico/sistema electrónico	6.1	Motor de tracción, potencia S2 60 min (Efficiency drivePLUS)	kW	12 15				
	6.2	motor de elevación, potencia con S3 (Efficiency liftPLUS)	kW	18,5 22				
	6.3	Batería según DIN 43531/35/36		DIN 43536 A				
	6.4	Tensión de batería/capacidad nominal	V / Ah	80 / 620	80 / 775	80 / 620	80 / 775	
	6.5	Peso de la batería	kg	1540	1863	1540	1863	
	6.6	Consumo energético según ciclo VDI	kWh/h	0				
	6.6.1	Consumo energético según ciclo EN (Efficiency PLUS)	kWh/h	6,4 6,3	6,3 6,2	7,1 7	6,9 6,9	7,2 7,1
	6.6.2	Equivalente CO2 según EN16796 (Efficiency PLUS)	kg/h	3,5 3,4	3,4 3,4	3,8 3,8	3,7 3,7	3,9 3,8
	6.7	Rendimiento en el despacho de mercancías (Efficiency PLUS)	t/h	174 188	175 189	204 212	205 213	198 213
	6.8.1	Consumo energético con máx. rendimiento en la expedición de mercancías (Efficiency PLUS)	kWh/h	7,9 9	7,8 8,9	8,1 9,2	8,1 9,1	8,4 9,4
Otros	8.1	Tipo de mando de tracción		Impulso/CA				
	10.1	Presión de trabajo para implemento	bar	200				
	10.2	Flujo de aceite para implementos	l/min	30				
	10.7	Nivel sonoro según EN12053, al oído del conductor	dB (A)	70				
	10.8	Enganche para remolques, clase/tipo DIN		DIN 15170 H				

Figura 2.4 Especificaciones técnicas de montacargas



Datos de rendimiento	5.1	Velocidad de desplazamiento, con/sin carga	km/h	6/6 or 6/7,5
	5.2	Velocidad de elevación, con/sin carga	m/s	0,037/0,052
	5.3	Velocidad de descenso, con/sin carga	m/s	0,051/0,047
	5.8	Capacidad máx. de ascenso en pendientes, con/sin carga 2)	%	5/10
	5.9	Tiempo de aceleración (0—10 m)	s	5,7
	5.10	Freno de parking		Electromagnético
Motor eléctrico	6.1	Clasificación del motor de desplazamiento S2 60 min	kW	1,8
	6.2	Clasificación del motor de elevación a S3 10%	kW	1
	6.4	Voltaje de la batería, capacidad nominal K_s	V/Ah	24/225*
	6.5	Peso de la batería	kg	222
	6.6	Consumo de energía de acuerdo al ciclo VDI	kWh/h	0,35
	6.7	Capacidad de movimiento de mercadería	t/h	135
	6.8	Consumo energético c/máx. rendim. en el mov. de mercadería	kWh	0,85
	Otros	8.1	Tipo control de tracción	
8.4		Nivel de sonido en la oreja del conducto de acuerdo a EN 12 053	dB(A)	65

Figura 2.5 Especificaciones transpaleta eléctrico

2.1.8 Número de operarios

Se comparó los datos proporcionados por el programa SAP versus conteo físico en el GEMBA.

EQUIPO	Equipo total	TURNO 1	TURNO 2
BILLING	4	2	2
COORDINACIÓN DE ALMACÉN	3	1	2
MH	4	2	2
RECHAZOS & DEVOLUCIONES	3	2	1
DESPACHO	11	6	5
MONTACARGAS	10	5	5
PICKING	16	8	8
POP	1	1	
RECEPCION	3	2	1
RUTERO	6	3	3

Figura 2.6 Cantidad de operarios en el almacén

2.1.9 Especificaciones de los SKU's

SKU	Altura recolectada en cm	Peso recolectado en Kg	Área	Altura pallet cm	cajas por pallet	Peso bruto en kg x caja
TANGO Classico 20x700g EC	132	225	Climatizado	142	16	14,6
MAGGI Salsa de Tomate 42x200g EC	94		Ambiente	138	50	9,195
MAGGI La Sazon 42x200g EC	94	688	Ambiente	136,1	50	9,2
MAGGI Mostaza 42x200g EC	95	688	Ambiente	136,1	50	9,2
NAN COMFORT 3 LR DEJWHPB046 6x800g CO	120		Ambiente	225	70	6,23
NESTLE Galleta Coco 18x540g EC	125	407	Ambiente	134,5	45	11,01
MARIA Galleta 14x414g EC	120	235	Ambiente	134,5	30	6,8
MAGGI Mostaza 4kg EC	93	675	Ambiente	130,5	150	4,33
ZOOLOGIA Galleta Vainilla 26x380g EC	114	225	Ambiente	129,3	21	10,7
TANGO Clasico Negro 4(100x25g) EC	116.5	250	Climatizado	120	24	10,4
RICACAO Chocolate Doy Pack 27x420g EC	109	452	Ambiente	119,1	30	12,08
AMOR Wafers Chocolate 36x175g EC	100	356	Ambiente	115,5	40	6,4

Tabla 2.4 Comparación de datos

2.1.10 Cantidad de ubicaciones en racks

Se comparan los datos proporcionados por la organización versus un conteo físico de las ubicaciones.

área	Tipo	Tipo almacén	Calle	Nivel	Par / impar	Ubicación	Material
Ambiente	Pallet completo	202	001	00	Par	00100200	<<vacío>>
Ambiente	Pallet completo	202	001	01	Par	00100201	12224266
Ambiente	Pallet completo	202	001	01	Par	00100201	12224266
Ambiente	Pallet completo	202	001	02	Par	00100202	12224266
Ambiente	Pallet completo	202	001	02	Par	00100202	12224266
Ambiente	Pallet completo	202	001	03	Par	00100203	12224266
Ambiente	Pallet completo	202	001	03	Par	00100203	12224266
Ambiente	Pallet completo	202	001	04	Par	00100204	12224266
Ambiente	Pallet completo	202	001	04	Par	00100204	12224266
Ambiente	Pallet completo	202	001	00	Par	00100400	<<vacío>>
Ambiente	Pallet completo	202	001	01	Par	00100401	12224266
Ambiente	Pallet completo	202	001	01	Par	00100401	12224266
Ambiente	Pallet completo	202	001	02	Par	00100402	12224266
Ambiente	Pallet completo	202	001	02	Par	00100402	12224266
Ambiente	Pallet completo	202	001	03	Par	00100403	12224266
Ambiente	Pallet completo	202	001	03	Par	00100403	12224266
Ambiente	Pallet completo	202	001	04	Par	00100404	12224266
Ambiente	Pallet completo	202	001	04	Par	00100404	12224266
Ambiente	Pallet completo	202	001	00	Par	00100600	<<vacío>>
Ambiente	Pallet completo	202	001	01	Par	00100601	<<vacío>>

Figura 2.7 Verificación de cantidad de Racks

2.1.11 Número de andenes de carga y descarga

Se llevó a cabo un recuento físico de los andenes destinados a recepción y despacho de productos, registrando además las distancias entre estos y su disposición con respecto a los racks. Esta información fue usada para configurar la disposición de los andenes en el programa de simulación.



Figura 2.8 Conteo de andenes de carga y descarga

2.1.12 Número de accidentes e incidentes reportados en picking

Información proporcionada por organización

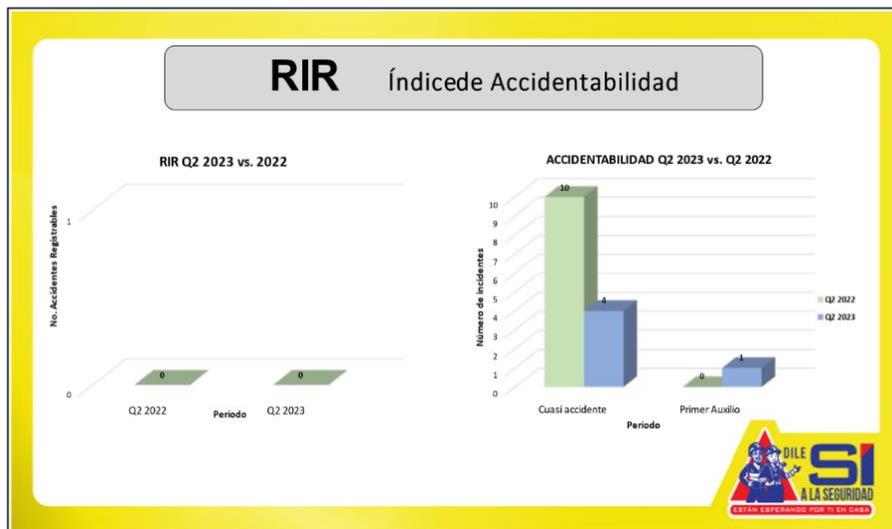


Figura 2.9 Índice de Accidentabilidad del CEDI

2.1.13 Productos ingresados en un periodo de tiempo.

Se comparan documentos proporcionado por la organización, con documento físico, y se comprueba que los datos son consistentes.

Material	Texto	Plant	Plant texto	Storage texto	Movement Texto	Número de documento de material	UNI	CJ	KG
12428023	MAGGI Mostaza 42x200g EC	0686	Guayaquil	CD Guayaquil	EM ASN Nestlé	8770261947	2,100	50	420
12428023	MAGGI Mostaza 42x200g EC	0686	Guayaquil	CD Guayaquil	EM ASN Nestlé	8770344329	2,100	50	420
12428023	MAGGI Mostaza 42x200g EC	0686	Guayaquil	CD Guayaquil	EM ASN Nestlé	8770345109	2,100	50	420
12428023	MAGGI Mostaza 42x200g EC	0686	Guayaquil	CD Guayaquil	EM ASN Nestlé	8770345170	2,100	50	420
12428023	MAGGI Mostaza 42x200g EC	0686	Guayaquil	CD Guayaquil	EM ASN Nestlé	8770603961	2,100	50	420
12428023	MAGGI Mostaza 42x200g EC	0686	Guayaquil	CD Guayaquil	EM ASN Nestlé	8770603962	1,260	30	252
12554380	RICACAO Chocolate Doy Pack 70x140g EC	0686	Guayaquil	CD Guayaquil	EM ASN Nestlé	8783099513	2,450	35	343
12554380	RICACAO Chocolate Doy Pack 70x140g EC	0686	Guayaquil	CD Guayaquil	EM ASN Nestlé	8783144449	2,450	32	314
12554380	RICACAO Chocolate Doy Pack 70x140g EC	0686	Guayaquil	CD Guayaquil	EM ASN Nestlé	8783144502	2,450	35	343
12554380	RICACAO Chocolate Doy Pack 70x140g EC	0686	Guayaquil	CD Guayaquil	EM ASN Nestlé	8783144505	2,450	35	343

Figura 2.10 Verificación de SKU's ingresados

2.1.14 Especificaciones técnicas de los racks

Información proporcionada directamente por fabricante.

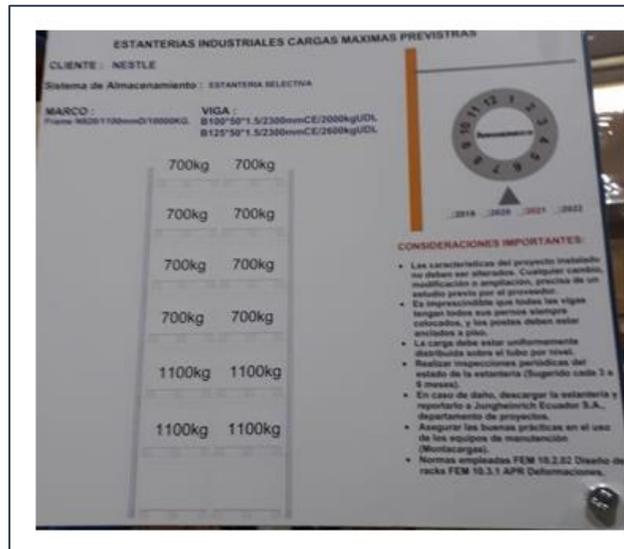


Figura 2.11 Especificaciones técnicas de los Racks

2.2 Análisis

2.2.1 Situación Actual

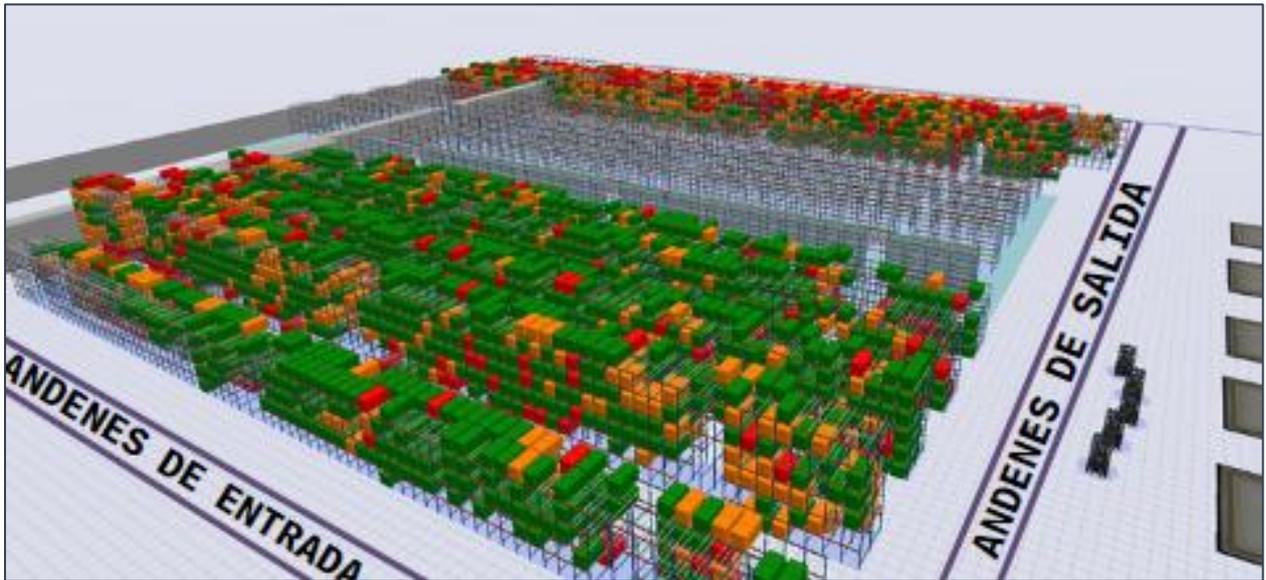


Figura 2.12 Mapa de calor actual

Se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los datos de los productos almacenados hasta el 21/06/2023 para generar un mapa de calor basado en la segmentación ABC. En este proceso, se extrajo directamente la clasificación ABC provista por la organización, la cual se fundamenta en el índice de rotación de los productos.

La **Figura 2.12** destaca la presencia de productos que, siguiendo las expectativas, deberían ubicarse en proximidad de los puntos de salida, sin embargo, se hallan posicionados en áreas distantes al final de los pasillos. Además, se revela que ciertos productos de las categorías B o C, que representan un 20% del volumen de ventas, se encuentran cercanos a los puntos de salida, ocupando espacios que podrían asignarse más lógicamente a productos de categoría A, que representa un 80% de ventas . Este fenómeno llama la atención dado que

carece de justificación a través de políticas o cálculos de correlación existentes.

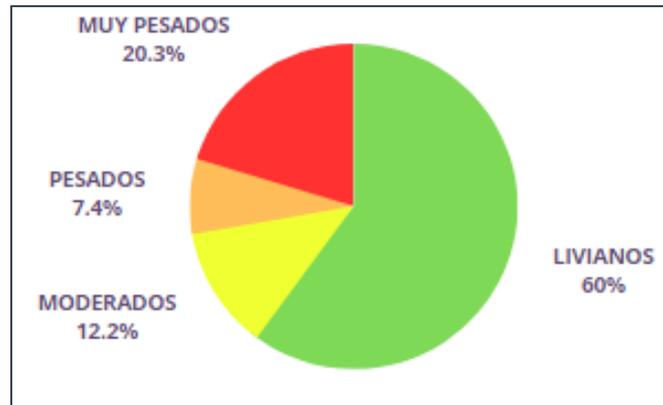


Figura 2.13 Categorización de los SKU's por su peso en Kg

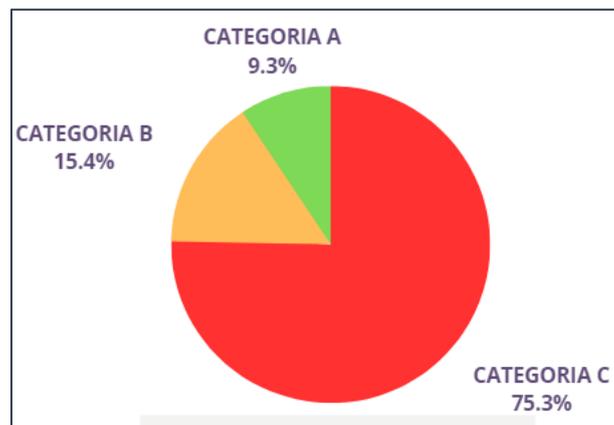


Figura 2.14 Categorización de los SKU's por su rotación

En la actualidad, el proceso de asignación de ubicaciones en estanterías a los productos entrantes en el centro de distribución carece de un patrón definido.

Los operarios de las carretillas asignan ubicaciones de forma subjetiva, buscando espacios libres en estanterías aleatorias, basándose únicamente en determinados criterios de ordenación existentes en el almacén. Por ejemplo, se designan secciones específicas para determinados tipos de productos, como colocar las galletas en las estanterías iniciales de la zona de ambiente y los productos culinarios en los últimos pasillos; sin embargo, ésta es la

única forma de "orden" que se sigue. No hay restricciones, ya que las galletas y los productos culinarios pueden mezclarse en la misma zona sin problemas.

Esta asignación, basada en la experiencia y la percepción del operador, puede dar lugar a desplazamientos adicionales y a tiempo dedicado a la búsqueda de ubicaciones disponibles.

Para demostrar esta situación, se han analizado los datos y se ha creado un mapa de calor para identificar oportunidades de mejora tanto en eficiencia como en seguridad.

2.2.2 Propuestas de diseño

2.2.2.1 Propuesta 1 : Asignación de ubicaciones de almacenamiento multinivel utilizando heurística y modelo de optimización basado en tres etapas.

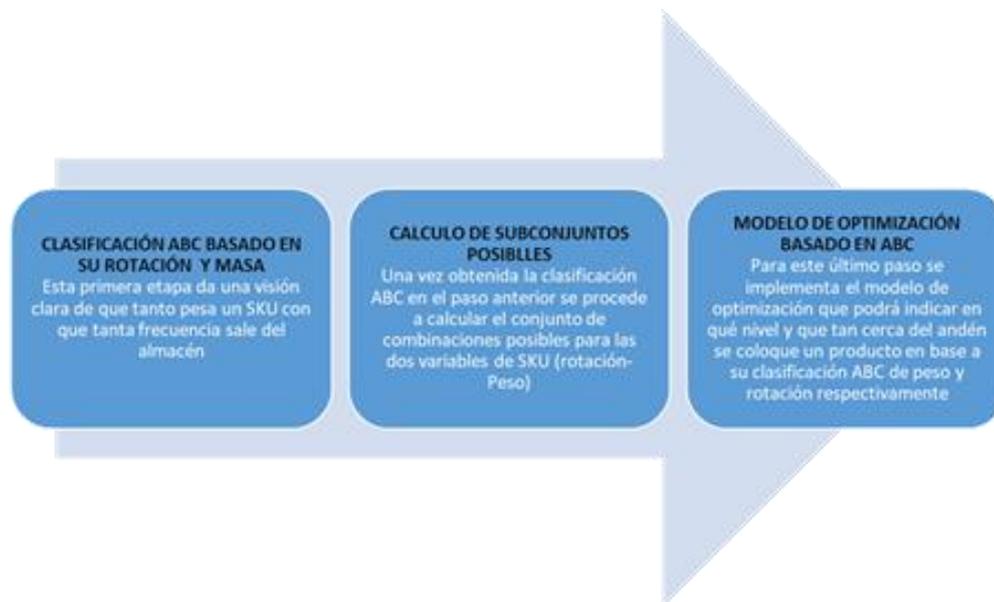


Figura 2.15 Etapas de propuesta 1

Las dos primeras etapas del proceso se centran en las posibles asignaciones que podrían tener los distintos SKU (Unidades de Mantenimiento de Inventario), empleando una heurística. Esta estrategia se fundamenta en la premisa de que los productos de alta rotación deben estar situados en proximidad de las áreas de salida, mientras que los de mayor peso deben ubicarse en niveles apropiados. La tercera y última etapa se concentra en refinar las ubicaciones a través

de la implementación de un modelo de optimización, asegurando una disposición aún más eficiente.

En la fase inicial, la heurística se utiliza para esbozar posibles asignaciones de SKU en función de factores clave. Específicamente, se considera la rotación del producto para determinar su cercanía a los andenes de salida, optimizando los tiempos de acceso. Simultáneamente, se evalúa el peso de los productos para garantizar ubicaciones en niveles que sean adecuados desde una perspectiva logística y de manejo.

En la etapa final, se emplea un modelo de optimización más avanzado para ajustar y perfeccionar las ubicaciones previamente asignadas. Este enfoque se basa en algoritmos y técnicas que buscan maximizar la eficiencia global del almacén, considerando múltiples variables y restricciones. El resultado es una distribución altamente optimizada de los SKU dentro del almacén, lo que a su vez se traduce en una mejora significativa de la eficacia operativa y una mejor utilización del espacio disponible.

INDICE ABC ROT	DISTANCIA DESDE SKU AL ANDEN	INDI CE ABC PESO S	NIVEL DONDE COLOC ARLO	SUBFA MILIA
A	CERCA	A		
B	MEDIO	A	0,1	1
C	ALEJADO	A		
A	CERCA	B		
B	MEDIO	B	2,3, 4	2
C	ALEJADO	B		
A	CERCA	C		
B	MEDIO	C	5	3
C	ALEJADO	C		

Figura 2.16 Segmentación de SKU's

Siguiendo lo expuesto previamente, en esta fase se ha llevado a cabo la segmentación de los SKU en función de su rotación y peso. Esto ha resultado en la creación de tres subfamilias distintas, como se ilustra en la **Figura 2.16**. Cada una de estas subfamilias corresponde a un nivel (rack) diferente, según su clasificación.

Además, se puede observar cómo se ha agrupado cada SKU en una de las tres subfamilias establecidas. Cada subfamilia está asignada a un nivel específico dentro del almacén, considerando tanto su rotación como su peso. Esta estrategia de segmentación y asignación de niveles tiene como objetivo optimizar la distribución y el acceso a los productos, garantizando una disposición eficiente que contribuye directamente a la operatividad fluida del almacén.

En la etapa final se implementa el modelo de optimización con sus respectivos conjuntos y restricciones que se muestran a continuación:

2.2.2.2 Modelo matemático-propuesta 1

Conjuntos:

- I: Índice de SKU
- S: Índice de subfamilia ($s = 1, 2, 3$)
- L: Índice de ubicación dentro del almacén (slots)
- K: Índice de salida del almacén (desde la salida)
- H: Índice de altura de SKU (W alturas disponibles)

Parámetros:

- Tot_loc: Número total de ubicaciones necesarias para ubicar los SKU's entrantes.
- U_s: Total de ubicaciones disponibles para la subfamilia s.
- Total_Racks: Total de ubicaciones disponibles en el almacén.
- W: Altura de las ubicaciones.

Variables:

- $X_{(i,l,s)}$: Variable binaria que indica si el SKU i se asigna a la ubicación l de la subfamilia s.
- $D_{(i,k)}$: Distancia del SKU i a la salida k.

Función objetivo:

La función objetivo logrará reducir al mínimo la distancia entre los SKU ubicados en cada nivel, considerando la clasificación ABC de rotación y peso.

$$MIN = \sum_{i,s,l,k} d_{i,k} * x_{i,l,s} \quad (2-2)$$

Restricciones:

$$\sum_{s,l} x_{i,s,l} \geq 1; \forall i \in I \quad (2-3)$$

$$\sum_i x_{i,l,s} \leq 1; \forall l,s \in S \quad (2-4)$$

$$\sum_l x_{i,l,s} = 1; \forall i,s \in S \quad (2-5)$$

$$h * x_{i,l,s} \leq W; \forall s \in S \quad (2-6)$$

$$\sum_l x_{i,l,s} \geq U_s; \forall s \in S \quad (2-7)$$

$$\sum_{i,s,l} x_{i,s,l} \leq Total_{racks}; \forall i,s,l \in I, S, L \quad (2-8)$$

La interpretación de cada una de las ecuaciones se las muestra a continuación:

(2-3) Cada SKU debe asignarse a más de una ubicación.

(2-4) Cada ubicación solo puede tener un SKU asignado.

(2-5) Sku i debe ubicarse en sus niveles correspondientes de subfamilia.

(2-6) La altura del SKU i debe ser menor o igual a la altura de la ubicación l

(2-7) Comprueba la cantidad mínima de ubicaciones necesarias para la subfamilia s.

(2-8) Comprueba la cantidad máxima de ubicaciones disponibles en el almacén.

El primer modelo Inicia mediante un enfoque intuitivo resolviendo las asignaciones potenciales para todos los SKUs disponibles, lo que permite que incluso el personal menos entrenado participe en esta tarea sin dificultades.

Esta estrategia de diseño eficiente para la disposición de los SKU's conlleva mejoras significativas en la eficacia de las operaciones logísticas. Se traduce en la disminución de los intervalos de búsqueda, generando un aumento palpable en la productividad del almacén en su conjunto.

Un punto destacado reside en el costo mínimo necesario para implementar este enfoque. A medida que se optimiza la ubicación de los SKU's, los gastos relacionados con el almacenamiento, transporte y manipulación de los productos experimentan una marcada disminución.

De lo contrario, dado que este modelo no es adaptativo, asignar una subfamilia basada en peso y rotación a nuevos SKU's resulta inviable debido a la carencia de un historial que categorice la rotación como alta o baja, dificultando la asignación inmediata de una ubicación.

Finalmente, el éxito del modelo de optimización radica en la disponibilidad de información precisa y fiable, incluyendo las dimensiones y peculiaridades de los SKU's, los costos inherentes, las limitaciones de espacio y las demandas de los productos. La recopilación y el mantenimiento de estos datos pueden plantear un desafío considerable en la implementación.

2.2.2.3 Propuesta 2: Asignación de ubicaciones de almacenamiento, usando análisis de minería de datos, clasificación ABC y categorización por pesos de pallets de productos.

El método de asignación de almacenamiento propuesto busca lograr la óptima asignación de espacio para los productos recién llegados que requieren ser guardados en los racks disponibles en el centro de distribución. Este enfoque presenta además la capacidad de adaptar de manera ágil la asignación de almacenamiento en respuesta a las variaciones en los patrones de pedido, aprovechando la minería de datos. La estrategia se desglosará, al igual que el método propuesto anteriormente, en tres fases distintas, permitiendo un proceso estructurado y eficiente para la gestión de la distribución de productos en el almacén.

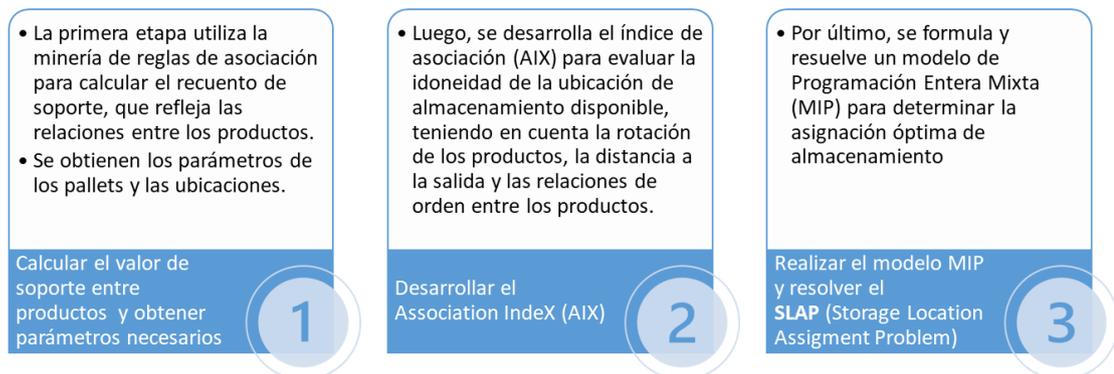


Figura 2.17 Etapas de propuesta 2

Para obtener el índice de asociación (AIX), se requieren el recuento de soporte ponderado, y para obtener este último, se requieren los valores de soporte y lift entre los pares de productos A y B. Para obtener estos valores se usa el algoritmo a priori, analizando los datos o históricos de la demanda.

El soporte se define matemáticamente como:

$$sp(A,B) = P(A \cap B) = \frac{\# \text{ de transacciones de contienen tanto A como B}}{\# \text{ total de transacciones}} \quad (2-9)$$

En este análisis, buscamos maximizar el soporte de una asociación de productos, ya que un valor más alto sugiere una mayor probabilidad de repetición en futuras transacciones.

El lift se define matemáticamente como:

$$\frac{P(A \cap B)}{P(X) * P(Y)} \quad (2-10)$$

Si el lift es cercano o igual a uno, esto implica que los productos son independientes entre sí, lo que sugiere que su presencia conjunta es aleatoria.

Un lift inferior a uno indica que la probabilidad de asociación entre los productos es menor que la probabilidad de que no estén relacionados, lo que sugiere una relación negativa o sustitutiva entre los productos.

Un lift superior a uno indica que la probabilidad de asociación entre los productos es mayor que la probabilidad de que no estén relacionados, lo que sugiere una relación positiva o complementaria entre los productos.

De las 2 métricas anteriores obtenemos el soporte ponderado spp:

$$spp = sp \begin{cases} \text{positivo ; si el lift es } > \text{ que } 1 \\ \text{negativo ; si el lift es } < \text{ que } 1 \\ 0 \text{ si el lift es igual a } 1. \end{cases} \quad (2-11)$$

Ya con esto podemos definir el modelo matemático:

2.2.2.4 Modelo matemático-propuesta 2

Conjuntos:

- I: [001, 002, 003, ..., 114] - Conjunto de pasillos (i).
- J: [001, 002, 003... 174] - Conjunto de ubicaciones (j).
- H: [00, 01, 02, ..., 06] - Conjunto de niveles de estantes (h).
- K: Conjunto de productos a ser almacenados (k).

- **U**: Conjunto de productos ya almacenados (u).
- **U_{am}**, **U_{cli}**, **U_{cnr}**: Conjunto de ubicaciones disponibles en áreas de ambiente, climatizado y culinario respectivamente.
- **UA**, **UB**, **UC**: Conjunto de ubicaciones pertenecientes a categoría A, B o C respectivamente, según la clasificación ABC.
- **Umpes**, **Upes**, **Umod**, **Uliv**: Conjunto de ubicaciones preferenciales para productos (muy pesados, pesados, moderados, livianos) respectivamente.

Parámetros:

- **a_{prod_k}**: Área donde el producto "k" debería ser almacenado.
- **a_{prodABC_k}**: Clasificación ABC del producto "k."
- **CaProdPeso_k**: Clasificación de productos k por peso (muy pesados, pesados, moderados, livianos).
- **disp_(i,j,h)**: Número de disponibles lotes en la localización (i, j, h).
- **prod_k**: Cantidad de unidades de producto "k" que deberían ser almacenadas.
- **T_k**: Rotación índice del producto "k."
- **D_(i,j)**: Distancia desde la localización (i, j) hasta el almacén de salida.
- **A_k**: Altura del pallet para producto "k."
- **Ha_(i,j,h)**: Máximo alto permisible en rack (i, j, h).
- **Wp_(i,j,h)**: Máximo peso tolerable en rack (i, j, h) según soporte.
- **P_k**: Peso del pallet para producto "k."
- **Spp_(k,u)**: Soporte ponderado entre producto "k" y todos los "u." almacenados en i.
- **Wsp_{p(i,k)}**: Suma del recuento de soporte ponderado entre el producto "k" y todos los lotes en el pasillo i.
- **RCorrect** = 1000;

- **PIncorrect** = -500

El parámetro $Wsp_{p(i, k)}$ se define en notación matemática como:

$$Wsp_{p_{i,k}} = \sum_{u \in U[i]} Sp_{p_{k,u}} \quad (2-12)$$

El parámetro AIX se define en notación matemática como:

$$AIX_{i,j,k} = Wsp_{p_{i,k}} * \left(\frac{T_k}{D_{i,j}} \right) \quad (2-13)$$

Variables:

$$X_{i,j,h,k} = \begin{cases} 1 & ; \text{Si el producto } k \text{ se almacena en la ubicación } (i, j, h) \\ 0 & ; \text{Si no} \end{cases} \quad (2-14)$$

Función objetivo: El primer término maximiza la asociación entre productos en un mismo pasillo, el segundo termino es una restricción suave que prioriza que los productos categoría A B o C sean ubicados en las ubicaciones destinadas para ellos, el tercer termino prioriza y recompensa que las diferentes categorías de peso sean asignadas a ubicaciones destinadas y penaliza si por ejemplo un producto muy pesado es asignado a un lugar reservado para moderados o livianos.

$$\begin{aligned} \max z = \sum_{i,j,h \in disp} \sum_k & [(AIX_{ijk} * X_{ijhk}) + \begin{matrix} RCorrect * X_{ijhk} & ; (i, j, h) \in UA \wedge a_prodABC_k = A \\ RCorrect * X_{ijhk} & ; (i, j, h) \in UB \wedge a_prodABC_k = B \\ RCorrect * X_{ijhk} & ; (i, j, h) \in UC \wedge a_prodABC_k = C \end{matrix} + \dots \\ & RCorrect * X_{ijhk} & ; (i, j, h) \in Umpes \wedge CaProdPeso_k = \text{"muy pesado"} \\ & RCorrect * X_{ijhk} & ; (i, j, h) \in Upes \wedge CaProdPeso_k = \text{"pesado"} \\ & PIncorrect * X_{ijhk} & ; (i, j, h) \in Uliv \wedge CaProdPeso_k = \text{"muy pesado"} \\ \dots + & PIncorrect * X_{ijhk} & ; (i, j, h) \in Umod \wedge CaProdPeso_k = \text{"muy pesado"} \\ & PIncorrect * X_{ijhk} & ; (i, j, h) \in Umpes \wedge CaProdPeso_k = \text{"liviano"} \\ & PIncorrect * X_{ijhk} & ; (i, j, h) \in Uliv \wedge CaProdPeso_k = \text{"pesado"} \end{aligned} \quad (2-15)$$

Restricciones:

1. Restricción que asegura que solo se considere la cantidad de pallets de productos “k” disponibles.

$$\sum_i \sum_j \sum_h X_{i,j,h,k} \leq \text{prod}k_k ; \forall k \quad (2-16)$$

2. Restricción que asegura que el número de pallets “k” almacenados sea menor o igual a la cantidad de ubicaciones disponibles en un slot (i,j,h).

$$\sum_k X_{ijhk} \leq 1 ; \forall ijh \quad (2-17)$$

3. Restricción que asegura que la altura del pallet del producto “k” ingresado en el rack sea menor a la altura del slot del rack en la ubicación (i,j,h), con un margen de seguridad de 13cm.

$$(A_k + 13) * X_{ijhk} \leq Ha_{(ijh)} ; \text{por cada } (i, j, h) \in \text{disp}_{i,j,h} \wedge k \in K \quad (2-18)$$

4. Restricción que asegura que el peso del pallet de producto “k” ingresado en el rack, sea menor al peso máximo soportado por el rack en la ubicación (i,j,h).

$$P_k * X_{ijhk} \leq Wp_{ijh} ; \text{por cada } (i, j, h) \in \text{disp} \text{ y } k \in K \quad (2-19)$$

5. Restricciones que aseguran que cada pallet de productos “k” sea asignado a su área respectiva (ambiente, climatizado o culinario).

$$\begin{aligned} X_{[i,j,h,k]} &\leq X_{[i,j,h,k]} * (a_prod_k = \text{Ambiente}) ; \forall_{i,j,h} \in U_am \wedge k \in K \\ X_{[i,j,h,k]} &\leq X_{[i,j,h,k]} * (a_prod_k = \text{Climatizado}) ; \forall_{i,j,h} \in U_cli \wedge k \in K \\ X_{[i,j,h,k]} &\leq X_{[i,j,h,k]} * (a_prod_k = \text{Culinarios}) ; \forall_{i,j,h} \in U_cnr \wedge k \in K \end{aligned} \quad (2-20)$$

En cambio, en este modelo mediante la explotación de la riqueza de los datos internos de la organización, se implementa una asignación dinámica de ubicaciones, lo que implica que los resultados del modelo evolucionen en respuesta a los cambios en los patrones de demanda a lo largo del tiempo. Esta adaptabilidad garantiza una sincronización constante con las necesidades cambiantes de la organización, optimizando así la gestión del almacén. Al facilitar

la disposición conjunta en pasillos de productos con pedidos frecuentes, se agiliza el proceso de recopilación, mientras que la distribución equitativa de artículos en diferentes pasillos reduce la congestión, optimizando la eficiencia operativa y mejorando la experiencia del personal.

Este enfoque, prácticamente sin inversión inicial, se despliega de manera ágil, trabajando con la configuración existente y adaptándose gradualmente a las rotaciones de productos para optimizar las asignaciones con el tiempo. Al lograr un equilibrio efectivo entre un mayor nivel de servicio y ahorros en costos, este modelo presenta un potencial prometedor para elevar la eficacia de la gestión de almacenes y aportar a la evolución positiva de la organización en su conjunto.

Sin embargo, una restricción del modelo radica en su incapacidad para asignar ubicaciones a SKU nuevos debido a la ausencia de datos históricos de pedidos para estos productos. No obstante, existen diversas vías para abordar esta circunstancia. Una opción sería asignar inicialmente el producto a una ubicación aleatoria y, a lo largo del tiempo, recolectar datos de pedidos específicos para ese artículo. Alternativamente, se podría aprovechar información de un producto altamente similar del cual se tengan registros históricos, como medio para guiar la asignación del nuevo SKU.

2.2.3 Análisis financiero

Dado que una de las restricciones primordiales obtenidas en las especificaciones de diseño es la necesidad de mantener un costo de implementación mínimo, se tomó la decisión de optar por el segundo modelo. A continuación, se presentan los resultados del análisis financiero.

Costos fijos	Costos de oportunidad	Beneficios esperados	
Mantenimiento de computadora (semestral = \$25)	Por 1 h de capacitación de personal = \$ 100	Reducción de distancias recorridas (6% a 15% anual)	Reducción de costo de recargas de baterías.
Actualizaciones y mejoras de código (\$ 50 anual)		Reducción en costo de mantenimientos debido al menor desgaste de equipos	
		Mejor reasignación de recursos	
		Mejor utilización del espacio de almacenamiento	
		Mejora la planificación de rutas y tiempos de entrega	
		Mejora productividad y eficiencia operativa	

Tabla 2.5 Costos asociados a la implementación del modelo

Inversión inicial	
Concepto	Valor (\$)
Desarrollo del modelo	\$2,000
Computadora	\$0
Persona que haga uso del programa integrando los datos requeridos	\$0
Integración 100% con SAP (módulo opcional)	\$8,000

Tabla 2.6 Inversión inicial

Costo anual total por Consumo de energía y mantenimientos	Montacargas 5 equipos	Transpaletas 8 equipos	Total	6% (Beneficio anual)
	\$49,593	\$25,265.29	\$74,858	\$4,491.49

Tabla 2.7 Costos y beneficio estimado anual

Segmento	% anual (Junio 2023)
Productivo corporativo	9,29%
Productivo empresarial	10,36%
Productivo PYMES	11,26%

Tabla 2.8 Porcentaje de interés de instituciones privadas [Fuente Primicias]

Precio kW/h (Ecuador)		\$0.096	
Costo de Energía promedio	Montacargas	Transpaleta	
	Valor aprox.		
Energía consumida por 1 equipo \$/h	0.48	0.05	
Subtotal Costo de la energía total por 3840 h. de trabajo (2 turnos - 8h)	\$1,838	\$194.83	
Costo de mantenimiento			
Costo de mano de obra anual	\$960	\$480	
Costo de refacciones básicas por año	\$1,152	\$150.00	
Costo de Propiedad aprox.			
Precio del Equipo	\$34,509	\$10,500.00	
Vida estimada	11 años	\$10.00	
Costo anual de propiedad	\$3,137	\$1,050.00	
Costo de batería (vida útil de 5 años) 2 baterías	\$13,132	\$6,000.00	
Costo anual de batería	\$2,626	\$1,200.00	
Costo de cargador	\$2,462	\$1,000.00	
Costo anual de cargador, Alta Frecuencia.	\$205	\$83.33	
Costo Anual Total	\$9,919	\$2,678	

Tabla 2.9 Costos aproximados de equipos montacargas y transpaletas

Flujo de caja propuesta de diseño 2				
Periodo (años)	Ingresos	Gastos	Fujo de caja	Flujo de caja acumulado
0		\$10,100	\$-10,100.00	
1	\$4,491.49	\$ 100.00	\$4,391.49	\$-5,708.51
2	\$4,491.49	\$ 100.00	\$4,391.49	\$-1,317.03
3	\$4,491.49	\$ 100.00	\$4,391.49	\$3,074.46
4	\$4,491.49	\$ 100.00	\$4,391.49	\$7,465.95
5	\$4,491.49	\$ 100.00	\$4,391.49	\$11,857.44

Tabla 2.10 Flujo de caja

Tasa de descuento (%)	Anual	Mensual	
	9.29%	0.77%	
TIR	33%		Rentable
VAN	\$6,853.60		Ganancias

Tabla Metodología.2.11 Beneficios de propuesta

Dada la naturaleza del proyecto, estamos limitados a una estimación del beneficio anticipado en relación con la distancia o el tiempo. Por lo tanto, procederemos al análisis centrándonos exclusivamente en el escenario más desfavorable, donde se lograría una mejora del 6% en la reducción de la distancia total recorrida. Esta aproximación conservadora nos permitirá evaluar el impacto en el peor de los casos y obtener una visión realista del valor potencial de la optimización.

Esta propuesta se muestra como una inversión rentable. Según la **Tabla Metodología.2.11** al examinar la Tasa Interna de Retorno (TIR), se observa que esta es superior a la tasa de descuento.

Asimismo, al analizar el Valor Actual Neto (VAN), se constata que este es positivo para un período de 5 años. Se estima que el punto de equilibrio se alcanza en el tercer año. Es importante señalar que esta propuesta podría resultar aún más lucrativa, dado que actualmente solo estamos considerando los beneficios derivados de la reducción de las distancias de desplazamiento.

2.2.4 *Cumplimiento de las propuestas con especificaciones de diseño y restricciones.*

Especificación de diseño	HOW?	Check	
		Propuesta 1	Propuesta 2
At least 30% of SKUs have an assigned location.	En ambas propuestas, a 100% de los SKUs objeto de estudio, se les asigna una ubicación En la propuesta 1: esta ubicación es estática y cambia en cada estacionalidad. En la propuesta 2: esta ubicación es dinámica y se adapta a la estacionalidad.	✓	✓
Average travel time per order < current.	Ambas propuestas tienen como objetivo reducir distancias, cada una usando su propia metodología.	✓	✓
Average total travel distance per picked item < current.	La distancia recorrida es proporcional al tiempo, por lo cual el tiempo de viaje también será reducido	✓	✓
Number of incidents or accidents related to operator flow = 0.	Ambas propuestas consideran restricciones de peso máximo soportado y mantienen la configuración de racks actual, la cual ha funcionado bien en términos de seguridad	✓	✓
Weighted average picking errors (2023) (monthly) < 45.	Al eliminar la aleatoriedad de la asignación de ubicaciones se espera disminuir los errores de recolección, puesto que elimina posibles errores de montacarguista al momento de registrar el producto asignado. En la propuesta 2: al juntar productos correlacionados, disminuye la probabilidad de distracciones en el momento que el operario cambia de pasillo, pues se espera reducir la cantidad de pasillos a visitar.	✓	✓

Tabla 2.12 Matriz de decisión A

Restricciones		Propuesta 1	Propuesta 2
Respetar espacio físico del almacén	Ambas propuestas se enfocan solo en asignar ubicaciones a los productos, por lo que no	✓	✓
Mantener disposición y configuración de racks	mueve racks, ni contruye nuevas ubicaciones, aunque si en un futuro hay nuevas	✓	✓
Respetar zonificación de almacén y sku que se almacenan en dichas zonas	ubicaciones, ambos modelos son flexibles a este tipo de cambios, simplemente modificando los parametros. Los productos se destinarán a sus zonas respectivas.	✓	✓
Safety standards	En ambas propuestas se consideran los pesos máximos soportados por los racks, y se priorizan ubicaciones a niveles más bajos de altura para los productos más pesados. En la propuesta 2: Al considerar varias salidas, los productos se asignan de distribuyen de manera uniforme a medida que van ingresando, de esta forma se disminuye la congestión entre operarios.	✓	✓
Technical specifications of racks	Se considera al delimitar las alturas y los pesos maximos, en la asignacion.	✓	✓
Especificaciones técnicas de pallets completos, por sku		✓	✓
Ubicaciones en racks	Ambos modelos cuentan restricciones de ubicaciones, zonas y materiales no considerados	✓	✓
Materials not considered	en este estudio o que o están disponibles.	✓	✓
Zonificación de racks		✓	✓
Categorías de SKU que no deben estar juntas (restricción por validar)	En caso de validar esto, las propuestas se pueden adaptar para cumplir esta restricción.	✓	✓
Cada ubicación debe contener un producto de un mismo lote	Se aplicará en las restricciones de cada modelo	✓	✓
Low economic impact.	Propuesta 2: Se adapta a las condiciones actuales del almacén, se trabaja con herramientas open source y eficientes, requiere solo una computadora para su ejecución.	✓	✓

Tabla 2.13 Matriz de decisión B

2.2.5 Selección y desarrollo de la propuesta de diseño

La propuesta seleccionada para el desarrollo de este proyecto fue la Propuesta 2: "Modelo de asignación de ubicaciones mediante minería de datos". Además, se enriqueció esta propuesta con un análisis ABC que consideró el índice de rotación de los productos, así como una categorización de los productos por peso. El objetivo de esto fue fortalecer el modelo, teniendo en cuenta todos los requisitos y restricciones establecidos por nuestro cliente.

Una vez que se completó el análisis preliminar relacionado con los datos y parámetros necesarios, las condiciones de factibilidad y las posibles alternativas de programas existentes para resolver el modelo, se llegó a la decisión de utilizar Python para implementar un programa. Para alcanzar el objetivo del proyecto, se eligió utilizar el software SCIP Optimization Suite, en conjunto con su librería pycipopt, y se incluyeron otras librerías de soporte necesarias.

El modelo se dividió en cinco módulos que proporcionaron las ubicaciones óptimas para cada SKU. Además, se utilizó un software de simulación (FlexSim) para obtener una representación visual clara y precisa de cómo se distribuirían los productos en los racks. Esto permitió simular los resultados y comparar la situación actual con la solución propuesta en este

Figura 2.18 Módulos creados en Python

estudio. La **Figura 2.18** muestra una pequeña parte de la programación detrás de los resultados y lo que representa cada módulo.

Para la primera etapa del diseño, se recopiló los parámetros necesarios para la ejecución del modelo a partir de los datos proporcionados por el cliente, los cuales previamente fueron validados.

Se comenzó analizando los datos históricos de ventas (período de 1 año recomendado). A partir de estos datos, se filtró y clasificó los elementos necesarios, lo que llevó a la obtención de los siguientes parámetros:

- Índice de rotación por ventas:

$$\frac{\text{Ventas totales del producto } k}{\text{Días totales del periodo analizado}} \quad (2-21)$$

- Clasificación ABC por ventas, siendo los productos “A” aquellos que representan el 70% de las ventas acumulada, el 20% restante son de categoría B y el 10% restante son categoría C.

Luego se hizo el análisis de la minería de datos, usando el algoritmo a priori, en el cual los productos se juntaron por pedidos u ordenes, para luego ser transformados a datos booleanos, con el objetivo de hacer el cálculo del algoritmo más eficiente, obteniendo finalmente el soporte y el lift, necesarios para obtener el recuento de soporte ponderado (Wsp), necesario para obtener el AIX. El resultado obtenido se muestra en la **Figura 2.19**.

antecedents	consequents	antecedent support	consequent support	support	lift	wsupportcount
frozenset({12188385})	frozenset({12423763})	0.12751004	0.084114235	0.025546631	2.381879321	229
frozenset({12423763})	frozenset({12188385})	0.084114235	0.12751004	0.025546631	2.381879321	229
frozenset({12188385})	frozenset({12424788})	0.12751004	0.000780901	0.000223115	2.24071991	2
frozenset({12424788})	frozenset({12188385})	0.000780901	0.12751004	0.000223115	2.24071991	2
frozenset({12427840})	frozenset({12188385})	0.030566711	0.12751004	0.003235163	0.830047704	-29
frozenset({12188385})	frozenset({12427840})	0.12751004	0.030566711	0.003235163	0.830047704	-29
frozenset({12188385})	frozenset({12428007})	0.12751004	0.019410977	0.00379295	1.532446375	34
frozenset({12428007})	frozenset({12188385})	0.019410977	0.12751004	0.00379295	1.532446375	34
frozenset({12428008})	frozenset({12188385})	0.006470326	0.12751004	0.000446229	0.540863427	-4
frozenset({12188385})	frozenset({12428008})	0.12751004	0.006470326	0.000446229	0.540863427	-4
frozenset({12188385})	frozenset({12428023})	0.12751004	0.058232932	0.016956716	2.283645579	152
frozenset({12428023})	frozenset({12188385})	0.058232932	0.12751004	0.016956716	2.283645579	152
frozenset({12428024})	frozenset({12188385})	0.027108434	0.12751004	0.006581883	1.90415087	59
frozenset({12188385})	frozenset({12428024})	0.12751004	0.027108434	0.006581883	1.90415087	59
frozenset({12188385})	frozenset({12429410})	0.12751004	0.006135654	0.000223115	0.285182534	-2
frozenset({12429410})	frozenset({12188385})	0.006135654	0.12751004	0.000223115	0.285182534	-2
frozenset({12188385})	frozenset({12429503})	0.12751004	0.094935297	0.027219991	2.24861904	244
frozenset({12429503})	frozenset({12188385})	0.094935297	0.12751004	0.027219991	2.24861904	244
frozenset({12188385})	frozenset({12430557})	0.12751004	0.034024989	0.006581883	1.517077578	59
frozenset({12430557})	frozenset({12188385})	0.034024989	0.12751004	0.006581883	1.517077578	59
frozenset({12188385})	frozenset({12444054})	0.12751004	0.00167336	0.000111557	0.522834646	-1

Figura 2.19 Resultados extraídos con minería de datos

Posteriormente, se analizó la disposición del almacén, incluyendo la configuración de los racks y la ubicación de los productos ;Error! No se encuentra el origen de la referencia. ,lo que resultó en la obtención de los siguientes parámetros:

- Ubicaciones disponibles por categoría (Climatizado, Ambiente, Culinarios)
- Ubicaciones preferenciales para productos categorizados ABC
- Ubicaciones preferenciales para productos de las 4 diferentes categorías de peso
- Pesos máximos soportados por cada ubicación en los racks
- Alturas de las diferentes ubicaciones en los racks

- Productos pertenecientes a Ambiente y Climatizado

A continuación, se analizó el layout o configuración de los productos en el almacén en distintos días correspondientes 1 año atrás, obteniendo el inventario promedio de cada producto. Lo cual da como resultado:

- Cantidad de pallets a almacenar por producto.

Por último, se analizó un documento que contenía los SKU disponibles junto con sus propiedades de peso, altura y tipo de producto (lácteos, fórmulas, cereales, etc.). De este análisis se obtuvieron los siguientes datos:

- Altura de los pallets de productos
- Peso de los pallets de productos
- Tipo de producto
- Productos considerados en el estudio

Material	Categoría	Area	cajas por pallet	Peso bruto en kg x cj	Altura considerada	Peso considerado
12520479	Confites	Ambiente	15	12	104.5	180
12064708	Confites	Ambiente	90	4.1	108	369
12064834	Confites	Ambiente	90	4.08	108	367.2
12511821	Confites	Climatizado	16	14.6	132	225
12381862	Culinarios	Ambiente	50	14	123	700
12423763	Culinarios	Ambiente	50	9.195	94	459.75
12427840	Culinarios	Ambiente	50	9.2	94	688
12428023	Culinarios	Ambiente	50	9.2	95	688
12429503	Culinarios	Ambiente	50	9.2	122	460
12515164	Confites	Ambiente	45	11.01	125	407
12515170	Confites	Ambiente	30	6.8	120	235
12520620	Confites	Ambiente	60	3.85	133	231
11495479	Professional	Ambiente	150	4.33	93	675
12224200	Confites	Ambiente	21	10.7	113.5	224.7
12224201	Confites	Ambiente	21	10.7	113.5	224.7
12224266	Confites	Ambiente	21	10.7	114	225
12519408	Confites	Ambiente	35	5.9	125.5	206.5
12281768	Confites	Climatizado	24	10.4	116.5	250
12554391	Bebidas	Ambiente	30	12.08	109	452

Tabla 2.14 Información acerca de los pallets de productos

Finalmente, los parámetros y los datos resultantes se introdujeron en el módulo correspondiente al modelo de optimización, y se procedió a ejecutarlo, como se muestra a continuación.

```

Primal Bound      : +4.23886250852752e+05 (2 solutions)
Dual Bound       : +4.23886250852752e+05
Gap              : 0.00 %
Optimal value: 423886,2508527523
El producto 11495353 debe almacenarse en el pasillo 014 ubicacion 002 nivel 02
El producto 11495353 debe almacenarse en el pasillo 014 ubicacion 002 nivel 03
El producto 11495353 debe almacenarse en el pasillo 014 ubicacion 002 nivel 00
El producto 11495353 debe almacenarse en el pasillo 014 ubicacion 002 nivel 01
El producto 11495353 debe almacenarse en el pasillo 014 ubicacion 002 nivel 04
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 107 ubicacion 036 nivel 02
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 107 ubicacion 036 nivel 03
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 107 ubicacion 036 nivel 01
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 107 ubicacion 036 nivel 04
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 107 ubicacion 038 nivel 02
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 107 ubicacion 038 nivel 01
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 107 ubicacion 038 nivel 04
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 113 ubicacion 036 nivel 02
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 113 ubicacion 036 nivel 03
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 113 ubicacion 036 nivel 00
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 113 ubicacion 036 nivel 01
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 113 ubicacion 036 nivel 04
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 113 ubicacion 038 nivel 02
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 113 ubicacion 038 nivel 03
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 113 ubicacion 038 nivel 00
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 113 ubicacion 038 nivel 01
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 113 ubicacion 038 nivel 04
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 113 ubicacion 037 nivel 02
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 113 ubicacion 037 nivel 03
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 113 ubicacion 037 nivel 01
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 113 ubicacion 037 nivel 04
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 111 ubicacion 036 nivel 02
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 111 ubicacion 036 nivel 03
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 111 ubicacion 036 nivel 00
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 111 ubicacion 036 nivel 01
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 111 ubicacion 036 nivel 04
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 111 ubicacion 038 nivel 02
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 111 ubicacion 038 nivel 03
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 111 ubicacion 038 nivel 00
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 111 ubicacion 038 nivel 01
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 111 ubicacion 038 nivel 04
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 111 ubicacion 037 nivel 02
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 111 ubicacion 037 nivel 03
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 111 ubicacion 037 nivel 01
El producto 11495358 debe almacenarse en el pasillo 111 ubicacion 037 nivel 04
El producto 11495353 debe almacenarse en el pasillo 012 ubicacion 004 nivel 02

```

Figura 2.20 Resultado de ejecución del modelo

2.2.6 Plan de implementación de prototipo

El plan actual para llevar a cabo la implementación del prototipo se encuentra detallado en la **Tabla 2.15**. Este plan fue estructurado de manera que todas las fases esenciales para el desarrollo exitoso del modelo propuesto estén claramente definidas y puedan ser comunicadas de manera efectiva a todas las partes interesadas.

ETAPAS	DESCRIPCIÓN	FECHA DE INICIO	CANTIDAD DE DIAS	FECHA DE FIN	PROGRESO
ETAPA 1	Necesidades y limitaciones de los clientes	13-may-23	7	20-may-23	100%
	Especificaciones de diseño	20-may-23	7	27-may-23	
	Establecimiento de objetivos de diseño	27-may-23	7	3-jun-23	
	Plan de recopilación de datos	3-jun-23	3	6-jun-23	
ETAPA 2	Recopilación de datos	9-jun-23	7	16-jun-23	100%
	Verificación de la fiabilidad de los datos	16-jun-23	10	26-jun-23	
	Análisis de datos y opciones de diseño	26-jun-23	9	5-jul-23	
ETAPA 3	Diseño de soluciones	7-jul-23	5	12-jul-23	100%
	Plan prototipo	12-jul-23	21	2-ago-23	
ETAPA 4 (VALIDACIÓN)	Configurar resultados obtenidos en el sistema	-	60	-	-
	Movimiento físico de pallet a racks				
	Seguimiento de la asignación de ubicaciones				

Tabla 2.15 Plan de implementación de prototipo

Capítulo 3

3 Resultados y análisis

3.1 Resultados definitivos del modelo

El modelo que ha sido seleccionado para este estudio ha sido sometido a un riguroso proceso de evaluación, con el objetivo de asegurar que sus resultados estén completamente alineados con las expectativas previstas., en la **Figura 2.19**, se exhibe una concisa pero representativa muestra de los resultados que este modelo ha arrojado. Es importante destacar que estos resultados han sido minuciosamente comparados con las especificaciones técnicas detalladas en el primer capítulo de este trabajo.

El resultado que se muestra en la **Figura 3.1** detalla exhaustivamente cómo el modelo seleccionado fundamenta principalmente sus resultados en las categorías de rotación y pesos. En la **Tabla 2.14** se presenta información detallada acerca de los materiales/productos, incluyendo su categoría de rotación y su clasificación de peso. Esta última categoría se divide de manera integral en cuatro clases: livianos, moderados, pesados y muy pesados.

Adicionalmente, los resultados obtenidos ilustran cómo cada material debe ser asignado a las diferentes áreas presentes en el CEDI.

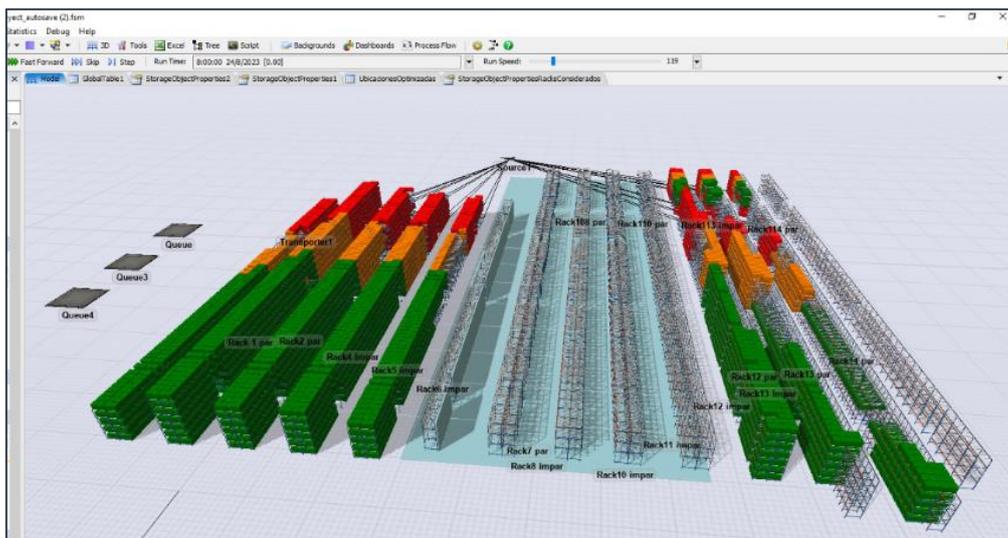


Figura 3.1 Resultados mostrados en FlexSim

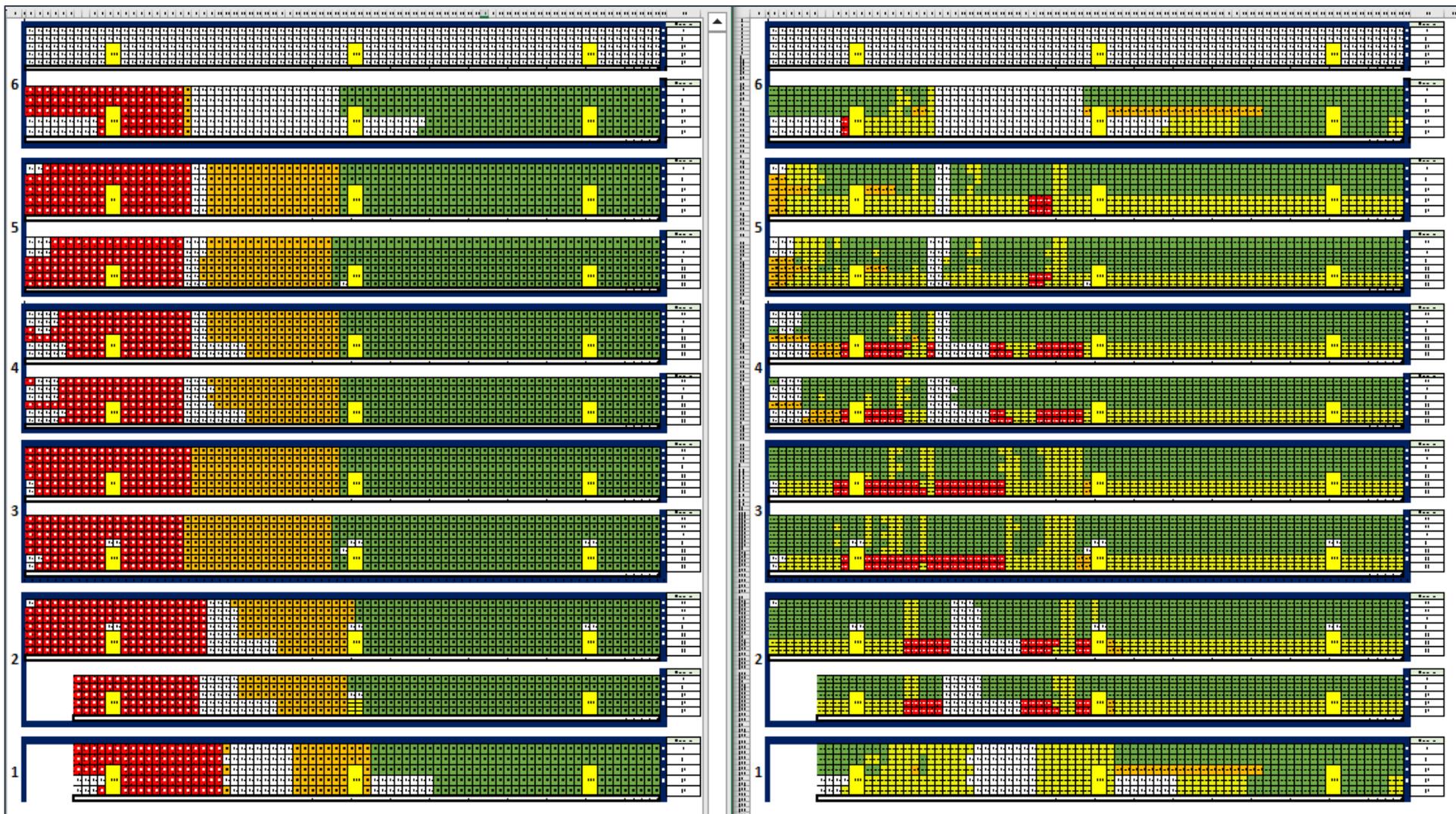


Figura 3.2 Mapa de calor de rotación y pesos de ambiente 1



Figura 3.3 Mapa de calor de rotación y pesos de ambiente 2

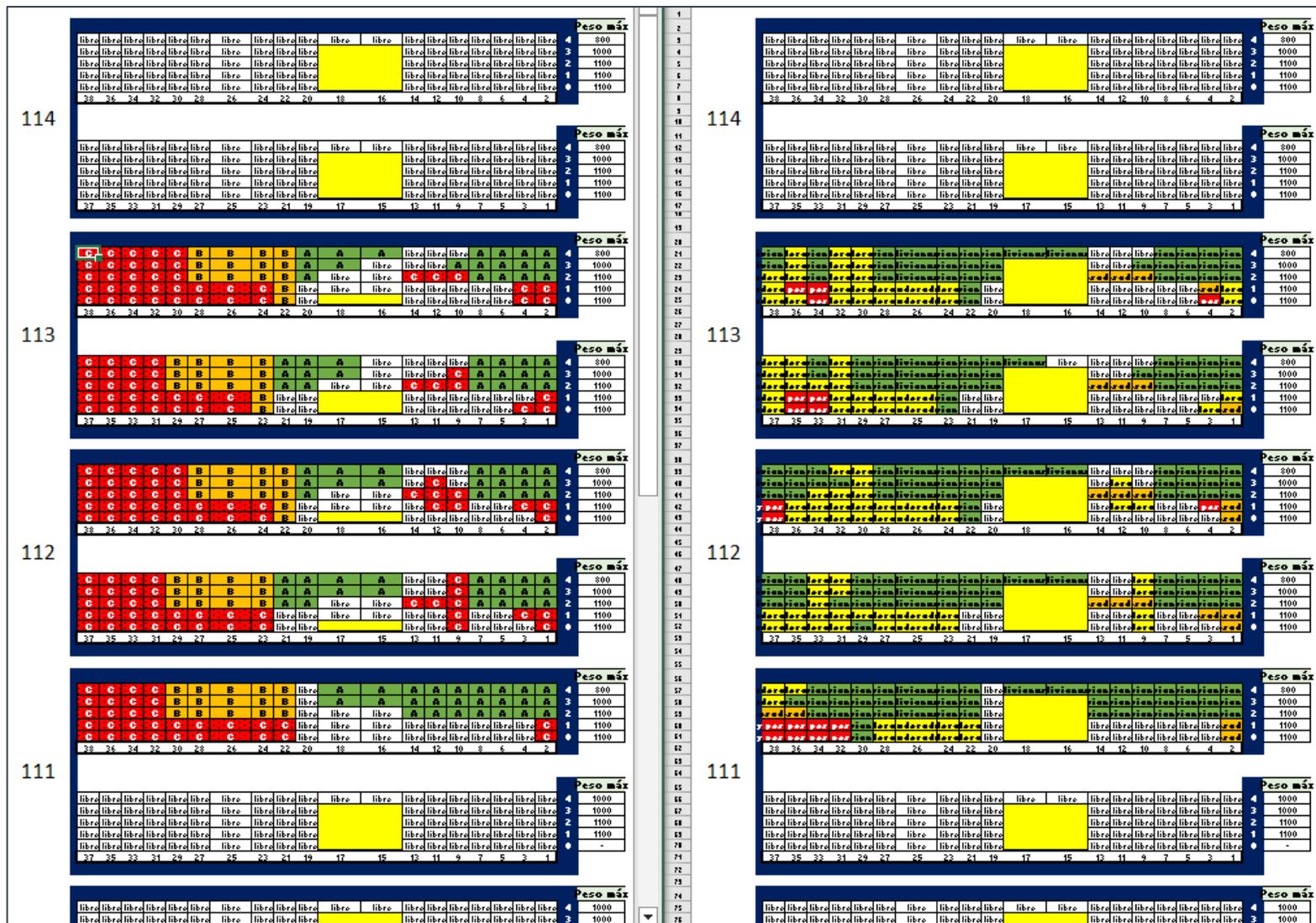


Figura 3.4 Mapa de calor de rotación y pesos de climatizado 1

Los resultados de la optimización fueron comparados con 5 escenarios diferentes de distribución de productos del almacén en 5 días distintos. Estos 5 escenarios se analizaron en igualdad de condiciones, obteniendo los siguientes resultados.

	Situación 12 JUN 2023	Situación 21 JUN 2023	Situación 30 MAY 2023	Situación 14 JUL 2023	Situación 30 JUN 2023	Situación Optimizada
Pallets transportados a andenes 1 Turno de trabajo	1441	1460	1435	1448	1421	1570
Pallets promedio transportados por Operario/hora	28	27	28	28	28	31
Distancia (metros) recorrida con 1570 Pallets transportados a sus andenes	67017	67901	66738	67343	66087	60869

Tabla 3.1 Resultados de simulaciones

Representado gráficamente tenemos:

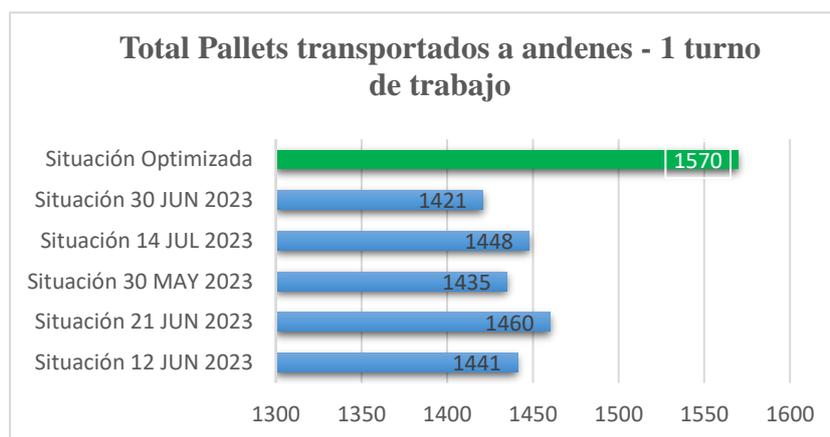


Figura 3.6 Total Pallets transportados a andenes - 1 turno de trabajo

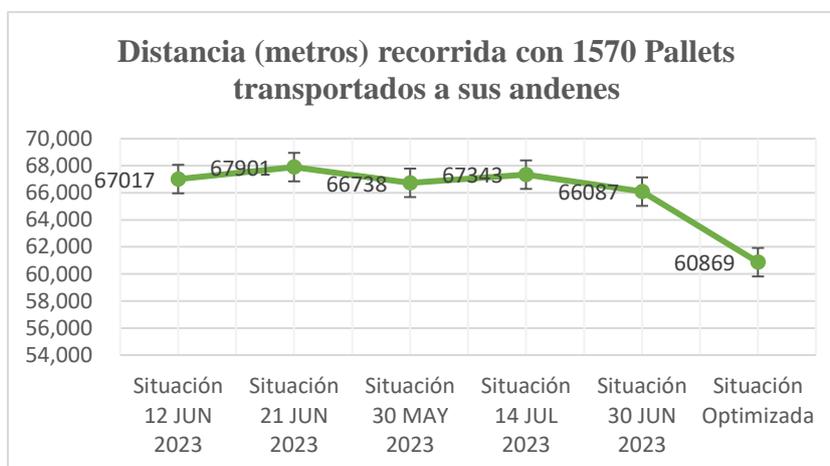


Figura 3.5 Distancia en metros recorrida con 1570 Pallets transportados a sus andenes

Para visualizar los resultados en términos de porcentaje de mejora tenemos la siguiente

tabla:

	Optimizada	Situación actual	% de mejora
Pallets promedio transportados a andenes en 1 turno de trabajo.	1570	1441	8.95%
Pallets promedio transportados por Operario/hora	31.4	28.8	8.99%
Distancia promedio (metros) recorrida con 1570 Pallets transportados a andenes.	60869	67017	9.17%

Tabla 3.2 Resultados obtenidos de la aplicación del modelo

Representado gráficamente tenemos:

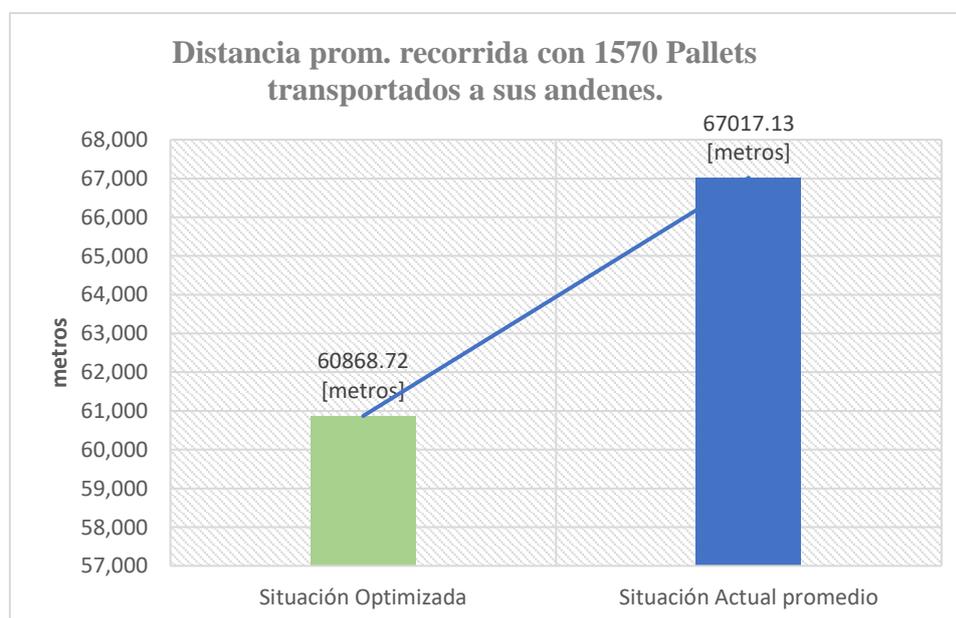


Figura 3.7 Distancia promedio recorrida con 1570 Pallets transportados a sus andenes.

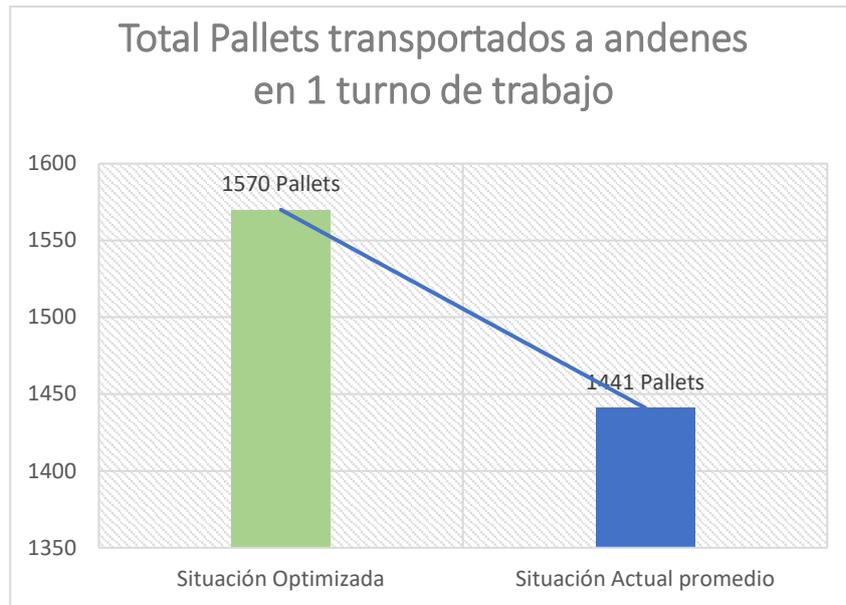


Figura 3.8 Total Pallets transportados a andenes en 1 turno de trabajo

También se ha mejorado en términos de tiempo dada la relación proporcional que existe entre la distancia y el tiempo dada por la ecuación de movimiento rectilíneo uniforme donde notamos que el tiempo aumenta si la distancia aumenta, dada una velocidad constante:

$$t = v * d \quad (3-1)$$

La optimización implementada demuestra resultados notables en la eficiencia de la recolección de pedidos. Tanto el número total de pallets trasladados a los muelles en un turno como la tasa de pallets transportados por hora experimentan mejoras significativas, aumentando un 9%. Esta mejora también se refleja en la distancia media recorrida, que disminuye en un 9.17%. Este incremento en la capacidad de transporte en un periodo de tiempo fijo no solo indica una reducción en los tiempos de transporte, sino también resalta la directa proporción entre distancias y tiempos en el proceso optimizado.

3.2 Análisis de costos

Considerando una inversión inicial de \$10000 junto con los costos de energía y mantenimiento de los equipos mostrados en el capítulo 2 **Tabla 2.9**

Además, teniendo ahora el porcentaje de mejora del 9% en promedio, podemos obtener el flujo de caja sólo considerando el beneficio a los costos asociados de 5 montacargas y 8 transpaletas eléctricas. Es decir, el beneficio económico incluso podría ser mayor.

Costos fijos		Costos variables	Costos de oportunidad
Mantenimiento de la computadora (anual)	#50	Ninguno	Por capacitación (1 Hora) de personal = \$ 100
Actualizaciones y mejoras de código (anual)	#1500	Ninguno	-

Tabla 3.3 Costos fijos, variables y de oportunidad del diseño

Costo anual total por consumo de energía y mantenimientos	Montacargas	Transpaletas	Total	Beneficio
	5 equipos	8 equipos		9%
	\$ 49593.7	\$ 25265.29	74859.03	\$ 6737.31

Tabla 3.4 beneficios – ahorro del 9% en el costo de los equipos y montacargas

Flujo de caja				
Periodo (años)	Ingresos	Gastos	Fujo de caja	Flujo de caja acumulado
0		\$11,650	-11650	
1	\$ 6,737.31	1550	\$ 5,187.31	-6462.69
2	\$ 6,737.23	1550	\$ 5,187.23	-1275.46
3	\$ 6,737.23	1550	\$ 5,187.23	3911.78
4	\$ 6,737.23	1550	\$ 5,187.23	9099.01
5	\$ 6,737.23	1550	\$ 5,187.23	14286.24

Tabla 3.5 Flujo de caja 5 años

Tasa de descuento (%)	Anual	Mensual	
	0.0929	0.00774167	
TIR	34%		Rentable
VAN	\$ 8,375.69		Ganancias

Tabla 3.6 TIR y VAN del diseño

Analizando el flujo de caja en un periodo de 5 años, tenemos un flujo positivo de dinero a partir del año 3, por lo que en el año 3 se recuperaría la inversión. El proyecto es rentable con un TIR de 34%, para los parámetros actualmente establecidos. Impacto en los pilares de sostenibilidad.

3.2.1 Pilar económico

Los resultados del modelo han arrojado un impacto significativo en términos económicos al aumentar la productividad por operario por hora. Esto se traduce en una mayor eficiencia y un menor costo por pallet, lo que directamente beneficia la salud financiera de la empresa. La optimización en la asignación de ubicaciones reduce el tiempo de búsqueda de productos, permitiendo que los trabajadores sean más productivos y eficientes en sus tareas diarias.

$$Productividad_{Operario/hora} = \frac{Cantidad\ total\ de\ pallets\ transportados\ por\ operario}{horas\ trabajadas} \quad (3-2)$$

En los resultados obtenidos y mostrados en la **Tabla 3.2**, tenemos que en promedio un operario pasa de transportar 28 Pallets/hora, a 31 Pallets/hora, por lo que este indicador mejora en un 9% aproximadamente.

3.2.2 *Pilar social*

El proyecto ha tenido un efecto positivo en el pilar social al mantener e incluso mejorar la seguridad laboral en el CEDI. La distribución uniforme de productos ha mejorado significativamente el flujo de materiales y el proceso de trabajo en general. Esto ha reducido la probabilidad de congestiones y, en consecuencia, el riesgo de accidentes en el almacén. Además, la categorización de pallets por peso contribuye a mantener la seguridad e integridad tanto de los empleados como de los racks, promoviendo un entorno laboral más seguro y saludable.

3.2.3 *Pilar ambiental*

En el ámbito ambiental, los beneficios son evidentes. La reducción de las distancias recorridas por parte de los operarios conlleva a una disminución significativa en el consumo de energía. Esto no solo se traduce en ahorros económicos, sino que también contribuye a la reducción de la huella de carbono de la empresa al disminuir las emisiones de CO₂ relacionadas con la carga de baterías. Además, la mejora en la eficiencia logística reduce la necesidad de utilizar recursos adicionales, para suplir las ineficiencias previas.

Como se puede observar en la Figura 2.4 el valor promedio de emisión de CO₂ de un montacargas es de 3.8 kg/h, y basados en los resultados de la Tabla 3.2, tenemos que, para transportar 1570 pallets, en la situación actual los montacarguistas demorarían 10.90 horas y en la situación óptima demorarían 10 h, por lo que tendríamos emisiones de CO₂ de 38kg y 41.43 kg por montacargas respectivamente, teniendo una reducción aproximada del 9% en la emisión de CO₂.

Capítulo 4

4 Conclusiones

En el marco de esta investigación orientada a mejorar la eficiencia operativa del CEDI, nuestro objetivo general ha sido nítido: diseñar un sistema que reduzca las distancias y, en consecuencia, los tiempos de recorrido en el proceso de picking. Para alcanzar este cometido, hemos establecido una serie de objetivos específicos que han guiado nuestro camino en este proyecto. Estos objetivos comprenden la creación de un mapa visual de calor que refleje la disposición actual de los productos según su rotación y peso, la identificación de los requerimientos esenciales para el diseño, la generación de diversas alternativas de diseño, la evaluación de su viabilidad y el análisis de los resultados a través de simulaciones.

Un diseño efectivo implica el cumplimiento de los requerimientos de diseño establecidos, que incluyen: asignar ubicación a al menos el 30% de los SKU, reducir el tiempo y la distancia promedio de recorrido de los operarios por debajo de los valores actuales y, al mismo tiempo, garantizar la seguridad laboral en todo momento. En este sentido, se concluye lo siguiente:

Cumplimiento del Objetivo General: Utilizando la metodología DMADV, se desarrolló un modelo que cumple con las especificaciones de diseño. Esto ha resultado en una mejora de aproximadamente el 9% en la reducción de distancias recorridas por los operarios, lo que se traduce en una mayor productividad y una disminución en los tiempos de picking. Además, se ha mantenido un enfoque en la seguridad laboral, asignando productos más pesados a los niveles inferiores de los racks para evitar posibles colapsos en la estructura, se ha asignado ubicaciones al 100% de los SKU's considerados en este estudio.

Cumplimiento del Objetivo Específico de Creación de Mapa de Calor: Se ha desarrollado un mapa de calor que clasifica los productos en función de su categoría ABC y peso, proporcionando una visualización gráfica de la situación actual. Esto ha permitido identificar oportunidades de mejora y comparar los resultados con el modelo propuesto.

Identificación de Requerimientos de Diseño: Los requerimientos de diseño se identificaron a través de la metodología DMADV, garantizando que se cumplan las expectativas más relevantes del cliente.

Generación de Alternativas de Diseño: Se exploró diversos artículos científicos relacionados con el almacenamiento y organización de productos, lo que condujo a la creación de dos alternativas de diseño, que fueron. Asignación de ubicaciones utilizando heurística y modelo de optimización, y asignación de ubicaciones usando minería de datos y clasificación por pesos y ABC por rotación.

Evaluación de Factibilidad de Alternativas de Diseño: Se realizó un análisis de costos y se empleó una matriz de decisión para comparar las ventajas y desventajas de las diferentes alternativas. La opción más robusta y flexible se eligió como el modelo a ser desarrollado, y fue la opción de asignación de ubicaciones mediante minería de datos, junto con la clasificación por pesos y una categorización ABC por rotación.

Obtención y Análisis de Resultados mediante Simulación: Se llevó a cabo una simulación utilizando datos previamente recopilados en la etapa de "Medir". Esta simulación incluyó escenarios tanto para la situación actual como para las ubicaciones óptimas propuestas por el modelo. Los resultados obtenidos confirmaron las mejoras previamente mencionadas.

En resumen, este proyecto ha logrado satisfactoriamente sus objetivos generales y específicos, lo que se traduce en una optimización de la eficiencia operativa en el CEDI. Además, se ha mantenido un enfoque en la seguridad laboral y se han cumplido las expectativas del cliente. Estos logros representan un paso importante hacia la mejora continua de las operaciones de distribución de alimentos.

4.1 Recomendaciones

1. Recolectar y validar correctamente los pesos y alturas de todos los pallets de productos, pues son de los parámetros más importantes, pues si se ingresan datos erróneos, daría a lugar a una mala distribución, a que ciertos productos no ingresen en sus lugares asignados y a una posible brecha de seguridad pues, un pallet muy pesado podrá ubicarse en un rack que no soporta dicho peso.
2. Para la simulación, se recomienda ingresar los parámetros más cercanos a la realidad posible, de ser posible, obtener las funciones de probabilidad y de distribución.
3. Al momento de establecer la función objetivo, específicamente en la restricción suave condicional de la categorización por peso, se recomienda ser más flexibles con los productos que no son muy pesados, dado que ser muy estrictos podría causar un desaprovechamiento de los espacios y ubicaciones disponibles.
4. Filtrar y eliminar todos los datos que no son necesarios para el cálculo de las métricas del algoritmo a priori, con el objetivo de que el cálculo sea más ligero.
5. Para asignar ubicaciones fijas, se requiere una cantidad fija por cada producto a ser almacenado, en este caso de estudio se usa el inventario promedio, pero

puede emplearse otros métodos e incluso analizarse a mayor profundidad para obtener las cantidades óptimas de cada producto.

Referencias

- Agrawal, R. I. (1993). Mining Association Rules between Sets of Items in Large Databases. *Proceedings of the 1993 ACM SIGMOD Conference*, 207-216.
doi:10.1080/17517575.2010.537784
- Brynzér, H. a. (1996). Storage location assignment: Using the product structure to reduce picking times. *International Journal of Production Economics*, 46-47. 595-603.
- Caldentey, E., & Pizarro, C. (n.d.). *Administración de inventarios*.
- Chase, R., & Robert Jacobs, F. (2009). Administración de operaciones. In *Administración de operaciones* (p. 577).
- Han, J. a. (2001). Data mining: concepts and techniques. *Morgan Kaufmann*.
- Liu, B., Wang, L., & Fu, X. (1999). Incorporating external knowledge in market basket analysis., (pp. 167-176).
- Majumdar, R., & Selvi, K. (2014). *Six Sigma-Overview of DMAIC and DMADV*.
International Journal of Innovative Science and Modern Engineering .
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (2014). *Educación*. En *Diccionario de la Lengua Española*.
- Srikant, R., & Agrawal, R. (1994). Fast algorithms for mining association rules., (pp. 487-499).
- Stephen Uselac, Z. L. (1993). *The Human side of total Quality team Management*.
Londonville.
- Suárez, O. d. (n.d.). Una aproximación a la heurística y metaheurística. In *Una aproximación a la heurística y metaheurística*.