UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
SANTIAGO - CHILE

PROPUESTA DE MODELOS DE MEJORAMIENTO EN OPERACIONES LOGÍSTICAS DE RECOLECCIÓN EN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN: CASO APLICADO A LA FIRMA MACO S.A.

AUTOR
FRANCISCO ESTEBAN QUEZADA AZOCAR

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA	:	VICTOR M. ALBORNOZ S.
PROFESOR CORREFERENTE	:	FERNANDO PAREDES C.

DICIEMBRE 2016

Agradecimientos

A mis padres, Francisco y Rosa, que jamás estimaron en esfuerzo y sacrificio para darme las herramientas necesarias para lograr mis objetivos. Por darme un hogar donde el amor parecía no tener límites y donde los valores fueron las enseñanzas más valiosas que he podido recibir. Por su infinito apoyo e incondicionalidad hacia mi felicidad por sobre la suya propia. A ustedes, amados mentores, les doy las gracias.

A mis hermanos, Nicolás y Catalina, que siempre confiaron en mí, extensiones de mis padres que jamás se apartarán de mi lado, que sabrán levantarme en los momentos más difíciles y que me acompañarán en los desafíos venideros.

A mis tíos, primos y abuelas, a la familia que Dios me ha asignado, les agradezco los mágicos momentos, las palabras de aliento, las enseñanzas de sus propias vivencias, el sincero apoyo y su tiempo invertido en escucharme y aconsejarme.

A mi querida Vanessa, que me ha acompañado en este arduo camino de sacrificio y entrega, que me ha dado nuevos sueños. Aquella que con su amor puro ha llegado a complementar mi vida, dándome la seguridad de que nada puede vencerme.

A mis queridos amigos, aquellos que siempre estuvieron conmigo, que no me dejaron caer, que celebraron mis victorias, que multiplicaron mis alegrías, que atenuaron mis penas y nunca me dieron la espalda. A ustedes que me dan dado el tesoro de su amistad.

A todos los muchachos del centro de distribución Quilicura, en especial a don Moisés, don Jorge, don Sergio y Bastián, gracias por su ayuda y confianza.

A mis abuelos, José y Francisco, que desde el firmamento donde descansan, estoy seguro que miran con orgullo el fruto de un legado que ellos comenzaron.

Dedicado a mis padres, gracias a ellos puedo decir con orgullo que soy un profesional. Se los juro por Dios, siempre se sentirán orgullosos de mí.

Los amo mucho.

RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo central de este trabajo es confirmar la hipótesis que versa que el ordenamiento estratégico de las existencias en los racks es capaz de reducir los tiempos logísticos dentro de un centro de distribución. Actualmente, el nivel de servicio al cliente es bajo, la escasa capacidad de respuesta es el principal problema del centro. Éste fenómeno se debe a múltiples factores, los más destacados son un desorden general de la bodega, descuadre de inventario entre el físico y el virtual, un ERP ineficiente y escasa maquinaria para procesos de recolección y almacenamiento.

Al comienzo se piensa en la implementación de un modelo del tipo location-allocation, pero debido a numerosas políticas restrictivas de la firma, además de las limitaciones técnicas del sistema de información, se decide dividir el problema central. Primero se localiza el rack idóneo a utilizar, mediante la aplicación de un modelo de centro de gravedad, para continuar con la aplicación de un modelo de optimización que permite asignar la mejor ubicación para un conjunto de repuestos en el rack previamente localizado. El segundo modelo toma como base las ubicaciones del rack 13 y una muestra de 50 códigos que constituyen a los conjuntos y considera los parámetros de capacidad de almacenamiento, peso máximo, volumen individual y demanda mínima. El modelo emula a un "Modelo de Slotting", logrando minimizar los tiempos de recolección, sujeto a restricciones de capacidad y de orden.

Los resultados obtenidos en el mes de control, muestran un crecimiento promedio de un 61,33 % en los pedidos, líneas y piezas que salen del centro, además de una diminución en los tiempos de recolección de un 103,29 % para la empresa International. Esto eleva la capacidad de respuesta de los operarios en un 127,15 %. Con la presencia de holgura en la dotación, es posible prescindir de un operario, esta acción significaría un VAN del orden de $7.307.288 y una tasa interna de retorno de un 25,28 %.

Palabras Clave. Slotting, Almacenamiento, Centro de Distribución, Recolección.

ABSTRACT

The main objetive of this project is to validate the hypothesis related to the strategic ordering of racks in terms of stock and whether it is able to reduce logistic times within a distribution center. Currently, the level of customer service is low, poor response capacity is the main problem of the center. This phenomenon is due to multiple factors: a general warehouse disorder, inventory mismatch between physical and virtual, inefficient ERP and scarce machinery for collection and storage processes.

Firstly, the implementation of a model of the location-allocation type is considered. However, due to numerous restrictive policies from the company, in addition to the technical limitations of the information system, it is decided to divide the main problem into two models. The first part is to identify the ideal rack in order to be used, by means of the application of a center of gravity model, to continue with the application of an optimization model that allows assigning the best location for a set of spare parts in the previously located rack. The second part is based on the locations of rack number 13 and a sample of 50 codes that constitute a set and it is considers the parameters of storage capacity, maximum weight, individual volume and minimum demand. The model emulates a "Slotting Model", managing to minimize collection times, liable to restrictions of capacity and order.

Finally, the observation and control show the following results: an average growth of 61.33 % in orders, lines and parts leaving the center, in addition to this, a reduction in collection times of 103.29 % for the International company. This point increases the responsiveness of operators by 127.15 %. With the presence of slack in the endowment, it is possible to dispense with an operator, this action means a NPV of the order of $ 7,307,288 and an internal rate of return of 25.28 %.

Keywords. Slotting, Storage, Distribution Center, Picking.

Índice de Contenidos

1. Introducción **1**
1.1. Problema de Investigación 1
1.2. Objetivo General 4
1.3. Objetivos Específicos 4
1.4. Alcance 5
1.5. Metodología 6

2. Marco Teórico **7**
2.1. Antecedentes Generales 7
2.2. Logística 8
2.2.1. Logística y Cadena de Suministro 10
2.2.2. Definición de la logística 11
2.2.3. Objetivos de la logística 11
2.3. Almacenes 13
2.3.1. Función de los almacenes 14
2.3.1.1. Almacenamiento para coordinar los desequilibrios entre oferta y demanda 14
2.3.1.2. Almacenamiento para la reducción de costos 15
2.3.1.3. Almacenamiento como complemento al proceso productivo 15
2.3.2. Clases de Almacenes 15
2.3.2.1. Clasificación de almacenes según naturaleza de productos almacenados 15
2.3.2.2. Clasificación según su función en la logística 16
2.3.2.3. Clasificación según régimen jurídico 16
2.3.2.4. Clasificación según las técnicas de manipulación 16
2.4. Pronóstico de la demanda 17
2.4.1. Tipos de pronóstico 18
2.5. Gestión de Inventarios 19
2.5.1. Presiones para mantener inventarios altos y bajos 19
2.5.2. Sistema de inventarios ABC 21
2.5.2.1. Grupo A 21
2.5.2.2. Grupo B 22
2.5.2.3. Grupo C 22
2.6. Modelos de Optimización 23

2.6.1. Fases de un Modelo de Optimización 24
2.6.2. Tipo de Modelos de Optimización 27
2.6.2.1. Según el uso del Resultado del Modelo 27
2.6.2.2. Según Variable de Tiempo 27
2.6.2.3. Según Probabilidad 28
2.6.2.4. Según Formulación Matemática 28
2.6.3. Modelo de Programación Entera 29
2.7. Modelos de Slotting 30
2.8. Método Centro de Gravedad 32

3. Antecedentes **33**
3.1. Antecedentes de la Empresa 33
3.2. Situación Actual 35
3.2.1. Recolección en Centro de Distribución 35
3.2.2. Salidas de Repuestos 36
3.2.2.1. Pedidos por Sector 37
3.2.2.2. Líneas de Pedido por Sector 38
3.2.2.3. Número de Ítems por Sector 39
3.2.3. Tiempos de Recolección 40
3.2.4. Operación por Dotación 41
3.2.5. Análisis ABC 42
3.3. Definición de la Problemática 44

4. Metodología **47**
4.1. Formulación del Modelo Matemático 47
4.1.1. Selección de la Muestra 47
4.1.2. Método del Centro de Gravedad 48
4.2. Modelo de Programación Entera Mixta 52
4.2.1. Conjuntos 53
4.2.2. Parámetros 53
4.2.3. Variables 54
4.2.4. Restricciones 54
4.2.5. Función Objetivo 56

5. Resultados **57**
5.1. Desarrollo de procedimiento basado en computadora 57
5.2. Pruebas y mejoramiento del modelo 57
5.3. Preparación para la aplicación del modelo 61
5.4. Implementación 61
5.5. Efectos y Evaluación Económica 63
5.5.1. Salidas de Repuestos 63
5.5.2. Tiempos de Recolección 65
5.5.2.1. Maco International 65
5.5.2.2. Motor Trade y Global Motor 66
5.5.3. Operación Por Dotación 68

5.5.4. Evaluación Económica 70
5.5.4.1. Inversión Inicial 70
5.5.4.2. Ahorros 70
5.5.4.3. Valor Actual Neto (VAN) 72
5.5.4.4. Tasa Interna de Retorno (TIR) 73

6. Conclusiones **75**

Bibliografía **78**

A. Diagnóstico Inicial Maco S.A. **79**

B. Método Centro de Gravedad **83**

C. Modelo Programación Entera Mixto **89**

D. Resumen Resultados de Octubre **109**

Índice de Tablas

3.1. Empresas y sus líneas de Negocios. Fuente: Elaboración Propia 34
3.2. Resumen de indicadores de tiempo para Maco International. Fuente: Elaboración Propia. 40
3.3. Resumen de indicadores de tiempo para Motor Trade. Fuente: Elaboración Propia. 40
3.4. Resumen de indicadores logísticos para Global Motor. Fuente: Elaboración Propia. 40
3.5. Resumen general de operación actual en bodega por sector. Fuente: Elaboración Propia. 41
3.6. Resumen general de operación actual en bodega por operario. Fuente: Elaboración Propia. 41

4.1. Clasificación según nivel de salida por sector. Fuente: Elaboración Propia. 49
4.2. Coordenadas del centro de gravedad por iteración. Fuente: Elaboración Propia. 51

5.1. Variación Porcentual por Sector (General C.D.) Fuente: Elaboración Propia. 64
5.2. Variación Porcentual por Sector (Según Empresa) Fuente: Elaboración Propia. 64
5.3. Resumen de indicadores de tiempo para Maco International (Noviembre). Fuente: Elaboración Propia. 65
5.4. Resumen de indicadores de tiempo para Global Motor (Noviembre). Fuente: Elaboración Propia. 67
5.5. Resumen de indicadores de tiempo para Motor Trade (Noviembre). Fuente: Elaboración Propia. 67
5.6. Resumen general de desempeño por sector para noviembre. Fuente: Elaboración Propia. 68
5.7. Resumen general de desempeño por operario para noviembre. Fuente: Elaboración Propia. 68
5.8. Cuadro Resumen de Inversión. Fuente: Elaboración Propia. 70
5.9. Tabla demanda por variable (Diagnóstico). Fuente: Elaboración Propia. . 70
5.10. Resumen de desempeño (Diagnóstico). Fuente: Elaboración Propia. . . . 70
5.11. Tabla demanda por variable (Noviembre). Fuente: Elaboración Propia. . . 71
5.12. Resumen de desempeño (Noviembre). Fuente: Elaboración Propia. 71
5.13. Valores de Factores. Fuente: Elaboración Propia 72

A.1. Distribución de Pedidos por Sector y Empresa. Fuente: Elaboración Propia. 80
A.2. Distribución de Líneas por Pedidos, por Sector y Empresa. Fuente: Elaboración Propia. 80
A.3. Distribución de Ítems por Pedidos, por Sector y Empresa. Fuente: Elaboración Propia. 81
A.4. Resumen ABC por Ítem. Fuente: Elaboración Propia 82
A.5. Resumen ABC por Línea. Fuente: Elaboración Propia 82

B.1. Volumen, Tiempo de Transporte y Coordenadas (Parte 1). Fuente: Elaboración Propia. 83
B.2. Volumen, Tiempo de Transporte y Coordenadas (Parte 2). Fuente: Elaboración Propia. 84
B.3. Cálculo de centro de Gravedad inicial (Parte 1). Fuente: Elaboración Propia. 85
B.4. Cálculo de centro de Gravedad inicial (Parte 2). Fuente: Elaboración Propia. 86
B.5. Cálculo para centro de gravedad incluyendo distancia (Parte 1). Fuente: Elaboración Propia. 87
B.6. Cálculo para centro de gravedad incluyendo distancia (Parte 2). Fuente: Elaboración Propia. 88

C.1. Muestra de repuestos (Parte 1). Fuente: Elaboración Propia. 90
C.2. Muestra de repuestos (Parte 2). Fuente: Elaboración Propia. 91
C.3. Tiempo de picking por ubicación (Modelo Base). Fuente: Elaboración Propia. 92
C.4. Máximo volumen permitido en la ubicación i (Modelo Base). Fuente: Elaboración Propia. 93
C.5. Cantidad mínima a ser almacenada y volumen de ítem (Modelo Base). Fuente: Elaboración Propia. 94
C.6. Tiempo de picking por ubicación (Modelo Prueba 1). Fuente: Elaboración Propia. 96
C.7. Máximo volumen permitido en la ubicación i (Modelo Prueba 1). Fuente: Elaboración Propia. 97
C.8. Resultados utilizando rack 14 con 50 SKU (Parte 1). Fuente: Elaboración Propia. 98
C.9. Resultados utilizando rack 14 con 50 SKU (Parte 2). Fuente: Elaboración Propia. 99
C.10. Muestra de repuestos (Modelo Prueba 2). Fuente: Elaboración Propia. . . 99
C.11. Cantidad mínima a ser almacenada y volumen de ítem (Modelo Prueba 2). Fuente: Elaboración Propia. 100
C.12. Resultados utilizando rack 13 con 54 SKU (Parte 1). Fuente: Elaboración Propia. 101
C.13. Resultados utilizando rack 13 con 54 SKU (Parte 2). Fuente: Elaboración Propia. 102
C.14. Muestra de repuestos categorizados (Parte 1). Fuente: Elaboración Propia. 103
C.15. Muestra de repuestos categorizados (Parte 2). Fuente: Elaboración Propia. 104
C.16. Resultados Modelo Base (Parte 1). Fuente: Elaboración Propia 105
C.17. Resultados Modelo Base (Parte 2). Fuente: Elaboración Propia 106

C.18. Prioridades de compra y venta (Parte 1). Fuente: Elaboración Propia . . . 107
C.19. Prioridades de compra y venta (Parte 2). Fuente: Elaboración Propia . . . 108

D.1. Resultados por Sección Para International. Fuente: Elaboración Propia. . 109
D.2. Resultados por Sección Para Global Motor. Fuente: Elaboración Propia. . 109
D.3. Resultados por Sección Para Motor Trade. Fuente: Elaboración Propia. . . 109
D.4. Resultados por Sección General. Fuente: Elaboración Propia. 110
D.5. Resultados por Sección Empresa. Fuente: Elaboración Propia. 110

Índice de Figuras

2.1. Cadena de Abastecimiento. Fuente: Sitio http://logistiempresas.blogspot.com/ 11
2.2. Definición de la logística. Fuente: Manual de logística Integral. Pau i Cos, Jordi. 11
2.3. Gráfico análisis ABC. Fuente: Gestión Logística Integral. Mora, Luis. . . 23

3.1. Marcas de automóviles distribuidos a Maco S.A. Fuente: Elaboración Propia. 33
3.2. Marcas de camiones y buses distribuidos a Maco S.A. Fuente: Elaboración Propia. 34
3.3. Inversionistas de Maco S.A. Fuente: http://maco.cl/maco-chile. 34
3.4. Layout Centro de Distribución. Fuente: Elaboración Propia 36
3.5. Pedidos por Sector, General Quilicura. Fuente: Elaboración Propia. 37
3.6. Pedidos por Empresa. Fuente: Elaboración Propia. 37
3.7. Líneas por Empresa. Fuente: Elaboración Propia. 38
3.8. Líneas de Pedido por Empresa. Fuente: Elaboración Propia. 38
3.9. Número de Ítems por Sector, General Quilicura. Fuente: Elaboración Propia. 39
3.10. Ítems por Empresa. Fuente: Elaboración Propia. 39
3.11. Gráfico ABC por Ítem. Fuente: Elaboración Propia. 42
3.12. Gráfico ABC por Línea. Fuente: Elaboración Propia. 43
3.13. Ubicaciones mal aprovechadas. Fuente: Elaboración Propia. 44
3.14. Desorden en el Almacenamiento. Fuente: Elaboración Propia. 45
3.15. Repuesto con más de una ubicación sin priorización. Fuente: Elaboración Propia. 45
3.16. Repuestos a granel y sin etiquetar. Fuente: Elaboración Propia. 46

4.1. Plano cartesiano de bodega Quilicura (escala 1:200). Fuente: Elaboración Propia. 52

5.1. Parabrisas en racks 14 y 15. Fuente: Elaboración Propia. 58
5.2. Rack 13 ordenado según modelo de Slotting. Fuente: Elaboración Propia. 66

A.1. Diagrama de Flujo - Proceso de Recolección 1. Fuente: Elaboración Propia 79
A.2. Diagrama de Flujo - Proceso de Recolección 2. Fuente: Elaboración Propia 80
A.3. Tiempos Logísticos por Sector para Maco International. Fuente: Elaboración Propia 81
A.4. Tiempos Logísticos por Sector para Motor Trade. Fuente: Elaboración Propia 81

A.5. Tiempos Logísticos por Sector para Global Motor. Fuente: Elaboración Propia 82

C.1. Esquema rack 13 (no a escala). Fuente: Elaboración Propia. 89
C.2. Esquema rack 14 (no a escala). Fuente: Elaboración Propia. 95

1 | Introducción

1.1. Problema de Investigación

El concepto “Cadena de Suministro” (Supply Chain) hace referencia al control y seguimiento de todas las operaciones realizadas sobre el producto desde las materias primas hasta la entrega como producto terminado al cliente. La gestión de la cadena de suministro (SCM) consiste esencialmente en la gestión del flujo de materiales y del flujo de información. El objetivo es que cualquier empresa parte de la cadena pueda acceder a los datos necesarios para tomar mejores decisiones de cara a aumentar el servicio al cliente (Martín Antonio, 2012). La idea consiste en aplicar un enfoque de sistemas total, de modo de lograr una significativa ventaja competitiva con su forma de configurar y manejar sus operaciones en la cadena de suministro .

La logística es una componente de la Cadena de Suministro, se relaciona con las actividades y procesos de abastecimiento, producción, almacenamiento, transporte, distribución y servicio al cliente necesarios para la supervivencia, crecimiento, productividad y competitividad empresarial (Strategies et al., 2015). La logística permite optimizar procesos, reducir gastos y aumentar la productividad. En su génesis, se aplicaba sólo en fuerzas militares, hoy es parte de los procesos comerciales como herramienta esencial en la operación y manejo de productos (Bernal y Layton, 2013).

La logística gira en torno a crear valor, valor para los clientes y proveedores de la empresa, y valor para los accionistas de la misma. El valor de la logística se expresa

fundamentalmente en términos de tiempo y lugar. Los productos y servicios no tienen valor a menos que estén en posesión de los clientes cuándo (tiempo) y dónde (lugar) ellos deseen consumirlos.

El almacenamiento es fundamental para poder equilibrar la oferta con la demanda, reducir costos (aprovechar precio por grandes lotes) y como complemento del proceso productivo para productos que necesiten "maduración" (Unviersidad de Oviedo, 2012).

A todas las empresas, sin discriminar tamaño o sector de su actividad, les interesa tener una correcta gestión de inventarios. Es un elemento clave, ya que el almacenar productos involucra costo. La idea es almacenar los productos correctos y no tener en bodega elementos por largo período de tiempo, más allá de aquellos productos que se requiere estén disponibles y se pueda cumplir así con los requerimientos de demanda. Para una buena gestión hay que considerar cuándo es necesario el reaprovisionamiento del inventario (fecha fija o variable) y si es necesario pedir cantidades fijas o variables, ambas según el nivel de stock. La gestión de inventarios debe tener en cuenta los aspectos organizacionales y los actores que la afectan, no sólo debe tomar en cuenta el aspecto matemático; sus procedimientos, deben complementar el uso de los modelos con la evaluación de la gestión organizacional que afecta a la gestión de inventarios (Lopes-Martínez y Inés Gómez-Acosta, 2013).

La firma Maco S.A. importa repuestos de distintas marcas, englobadas en tres empresas, Maco Internacional, Glogal Motor y Motor Trade, los cuales distribuye a sus clientes de manera directa, además de abastecer a las distintas sucursales a lo largo de todo el país. Al momento de atender diferentes solicitudes de repuestos, lo deseable sería que la empresa respondiera con eficiencia y con un alto nivel de servicio, lo cual no está ocurriendo actualmente por la mala gestión, planificación y desorden general presente en el centro de distribución, además de la inexistencia de planes de mejoría.

En los últimos cinco años, el parque automotriz a nivel nacional se ha incrementado

en un 41 %, existiendo un registro de más de siete millones de vehículos inscritos a la fecha. Esto, impacta directamente en la demanda de repuestos, que también ha tenido un crecimiento. Al importar la mayoría de sus repuestos, el tiempo entre una solicitud y la llegada al centro es considerable, por lo que tomar en cuenta factores como el stock de seguridad, se vuelve fundamental para responder correctamente en los plazos acordados. Hoy esto no ocurre y es habitual no poder responder al cliente en su totalidad, lo que genera molestia y costos asociados.

Es importante poder predecir la demanda, de manera de planificar correctamente todas las acciones, considerando cada etapa del proceso con sus tiempos y escenarios asociados.

El exigente ritmo que tiene a diario la empresa, hace que se deba responder a las necesidades del momento y se postergue un análisis acabado de la situación actual y el hallar soluciones. Es imperante optimizar la situación mediante este trabajo de memoria. El determinar el correcto almacenamiento de las materias primas, tener claro el comportamiento de la demanda, un buen procesamiento de pedidos, una distribución y transporte eficientes, entre otros; son claves para solucionar la problemática existente.

¿Cómo se puede mejorar los procesos logísticos de esta empresa del rubro automotriz, considerando todas las variables presentes en el caso? Es la pregunta que se pretende responder de la manera más óptima.

1.2. Objetivo General

Desarrollar un plan de mejoramiento en las operaciones logísticas para un centro de distribución de repuestos automotrices, mediante la creación de un modelo de optimización que entregue ubicaciones para las existencias en estanterías estratégicamente idóneas para mejorar los niveles de servicio.

1.3. Objetivos Específicos

- Realizar un estudio detallado de la situación actual de manera presencial, para comprender la operación.
- Identificar puntos de ineficiencia de los diferentes procesos involucrados, mediante diagramas que permitirán una mejor visualización.
- Estandarizar y optimizar procesos ineficientes.
- Formular modelos de optimización, basados en criterios cualitativos y cuantitativos que permitan mejorar la operación.
- Sensibilizar el plan propuesto para observar el comportamiento frente a cambios de escenario y contrastar con situación actual.

1.4. Alcance

La presente memoria se realiza en el centro de distribución localizada en Av. Eduardo Frei Montalva 9829, Quilicura, Santiago, Chile, dependiente de la gerencia de repuestos, perteneciente a la Empresa Maco S.A.

Lo que se requiere realizar es una propuesta de mejoramiento en las operaciones logísticas, enfocadas en una disminución en los tiempos operativos de las actividades de recolección y despacho de repuestos, para posteriormente medir los efectos de dicha propuesta, tanto operativa como económicamente, tomando en cuenta las variables y costos logísticos implicados. Complementando lo anterior, el problema y solución planteado deja fuera el estudio de las operaciones concernientes a la recepción de mercadería. El modelo para el escenario propuesto será resuelto mediante la utilización del programa AMPL (A Mathematical Programming Language), herramienta para describir y resolver problemas de alta complejidad para la computación matemática, dando la posibilidad a la firma de expandir los análisis y soluciones para la totalidad de las existencias.

La presente memoria cuenta con tres enfoques a lo largo de su desarrollo:

- **Explicativo:** Se pretende explicar las causas de los fenómenos que son los responsables de la alta ineficiencia operativa presente en el centro de distribución, además de descubrir el por qué ocurren y bajo qué condiciones se desarrollan, el fin es poder focalizar las variables críticas y comprender el real problema dentro del presente estudio.
- **Descriptivo:** Se observa el comportamiento y manejo de los repuestos dentro del centro de distribución, el objetivo es poder comprender el funcionamiento lógico de las operaciones dentro de la bodega, midiendo las variables atingentes.
- **Exploratorio**: Al no existir antecedentes dentro de la empresa sobre la problemática planteada, dejando la organización a criterios arbitrarios, en el estudio se propone un modelo matemático para su reorganización.

1.5. Metodología

Para el desarrollo de este trabajo de memoria, se utilizará la siguiente metodología:

I. Recopilación de antecedentes generales de la Empresa Maco S.A.

II. Levantamiento de información de procesos atingentes a las operaciones realizadas dentro del centro de distribución.

III. Analizar y consolidar bases de datos históricas entregadas por el sistema de información, concernientes a las operaciones llevabas a cabo en el centro de distribución.

IV. Diagnosticar la situación actual de la bodega, parametrizando las operaciones en variables de tiempo y por dotación.

V. Identificar los parámetros a medir (*KPI*) que sean más influyentes en los procesos y que se utilizaran posteriormente para la medición de las mejoras resultantes.

VI. Explorar y documentar las prácticas habituales en las operaciones diarias por parte de la dotación del centro de distribución, entendiendo y concluyendo cómo dichas prácticas afectan a las variables que se desean medir y optimizar.

VII. Consultar información bibliográfica acerca de modelos de localización, propuesta de slotting y sobre gestión de inventarios y almacenes.

VIII. Crear y ejecutar un modelo de optimización que permita obtener la localización más eficiente de repuestos dentro de estanterías, definiendo como función objetivo, disminuir los tiempos asociados de picking y despacho de mercadería.

IX. Medir los efectos de la reorganización de las existencias en las estanterías y de los protocolos instaurados, tanto en factores de tiempo de recolección y despacho, como en una evaluación económica.

X. Realizar las conclusiones pertinentes al caso de estudio y entregar a la firma los documentos, indicaciones y procedimientos necesarios para expandir los alcances de la presente memoria a la totalidad del centro de distribución.

2 | Marco Teórico

2.1. Antecedentes Generales

En Chile, el parque automotriz ha tenido un gran crecimiento los últimos años, pero se ha observado una desaceleración. Hoy, la tendencia indica que la gente prefiere hacer mantenciones a sus automóviles que adquirir nuevos, impulsado principalmente por una economía no tan estable como años anteriores. A pesar de que la venta de automóviles nuevos ha desacelerado, los precios siguen en aumento e incluso se le han agregado impuestos como el "impuesto verde", que tiene estricta relación con el nivel de contaminación que este emite.

El automóvil es el principal medio de transporte de los chilenos, además de ser un símbolo de status y prestar una gran comodidad. Hoy el chileno destina mayor parte de sus ingresos para este tipo de lujo, el tiempo es algo escaso y el automóvil ayuda a obtener ganancias en este ámbito.

La demanda de repuestos es grande, debido al gran padrón automovilístico, hoy existe un gran número de marcas y alrededor de 1800 modelos diferentes de automóviles a nivel nacional. La empresa Maco S.A. ha observado esta tendencia y se ha ido adaptando a las nuevas condiciones del mercado, ampliando la gama de productos ofrecidos.

Es una importante proveedora de repuestos automovilísticos, la cual se ha ido expandiendo en los últimos años debido a su creciente éxito. Pero este éxito ha tenido

que acompañarse de cambios a nivel interno para poder sustentarse, los cuales aún son insuficientes para poder sobrellevar el ritmo exigente con el que se ven enfrentados cada día.

Entre los principales problemas observados se tiene:

1. Desorden en el almacenamiento de productos.
2. No están estipuladas las cantidades idóneas a solicitar, según tipo de repuesto.
3. Mal control de inventario.
4. Inexistencia de un protocolo de operaciones para la bodega.

No se tiene claridad de los lotes óptimos a solicitar para cada tipo de producto, lo que produce que en ocasiones el producto no esté disponible cuando el cliente lo solicite y tampoco se cuente con un stock de seguridad para poder palear el problema, lo que genera molestia en clientes y pérdida de ventas.

Cuando los productos son solicitados, estos se almacenan de manera arbitraria en la bodega, no habiendo lugares establecidos para productos más demandados o de mayor cuidado. En mi opinión, se tiene un alto grado de desorden, lo que provoca que el control de inventario sea de mala calidad. No se tiene claridad de aquellos productos con mayor grado de antigüedad y al querer buscar un producto específico se emplea mayor tiempo del deseado.

2.2. Logística

La etimología de “logística” viene de la voz griega "logistikos"que significa razonamiento, cálculo. Esta voz griega viene del verbo logiszesthai (calcular) y del sufijo tikos (relativo a), llevando el significado de “logistikos” a lógica matemática. La logística nace debido a que en los productos que los clientes necesitaban no se encontraban en su lugar de origen o no se encontraban disponibles cuando se querían consumir. Los alimentos se consumían en el lugar donde eran generados o se transportaban a otros lugares y se

almacenaban para consumirlos tiempo después. Los productos eran perecibles, por lo que había una limitante de tiempo al transportarlos y la capacidad se veía afectada por lo que las personas podían llevar. Se optaba por vivir cerca de aquellos elementos que se necesitaban, los cuales eran definidos por la ubicación geográfica que tenía, por ejemplo, el clima idóneo para el desarrollo de ciertos productos.

Los sistemas logísticos empezaron a perfeccionarse a través del tiempo, las zonas empezaron a producir más eficientemente y el exceso de producción se pudo transportar a diferentes zonas de una manera rentable. Aquellos productos que antes eran inexistentes en una zona pudieron importarse. El concepto de logística en el mundo de los negocios se emplea en los últimos veinte años. A pesar del gran desarrollo que ha tenido en investigación de operaciones e ingeniería industrial, este aflora en la II Guerra Mundial, donde se empieza a hablar de la "logística militar".

La logística es una función clave para las empresas, gracias a ella se aumenta la competitividad junto con la rentabilidad y si, es de excelencia, permite generar grandes ventajas competitivas. La logística, combina técnicas de punta que se acompañan con reflexión innovadora, lo que permite una coordinación global. La logística permite entregar al cliente un elevado nivel de calidad global al menor precio posible.

La logística da a los negocios reglas que permiten a la dirección seguir, valorar, priorizar y controlar todos los distintos elementos de aprovisionamiento y distribución que inciden en la satisfacción del cliente, los costos y beneficios (Jordi Pau Cos, 2014).

Los cambios logísticos deben ser liderados por personal capacitado, las competencias, experiencia y responsabilidades que estos posean son fundamentales para que aquellos que lideran esta área puedan marcar la diferencia. Deben presentar soluciones originales y evolucionar mentalidades. Actualmente la logística se está integrando a la política general de las empresas, los costos logísticos pueden ser hasta un 30 % de los costos globales.

La logística es una actividad interdisciplinaria que vincula las diferentes áreas de la compañía, desde la programación de compras hasta el servicio postventa; pasando por el aprovisionamiento de materias primas; la planificación y gestión de la producción; el almacenamiento, manipulación y gestión de stock, empaques, embalajes, transporte, distribución física y los flujos de información (García, 2013).

2.2.1. Logística y Cadena de Suministro

La cadena de abastecimiento (cadena de suministro o Supply Chain), son todas las actividades que surgen a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto o servicio, desde que se genera hasta cuando es consumido. El objetivo es que el producto final se produzca de la manera más eficiente posible, considerando la transformación y flujo de información de las materias primas hasta el producto o servicio final.

Este concepto es similar al concepto de logística, pero extendido más allá de la empresa. Se integran los procesos del negocio desde el consumidor hasta los proveedores, con el fin de agregar valor.

Las mejoras del proceso logístico se enfocan en la optimización del flujo total, no de una compañía en particular. Se aplica en enfoque de sistema total para manejar el flujo desde proveedores al usuario final. El concepto de sinergia se aplica en su totalidad (Mejías Díaz, 2015).

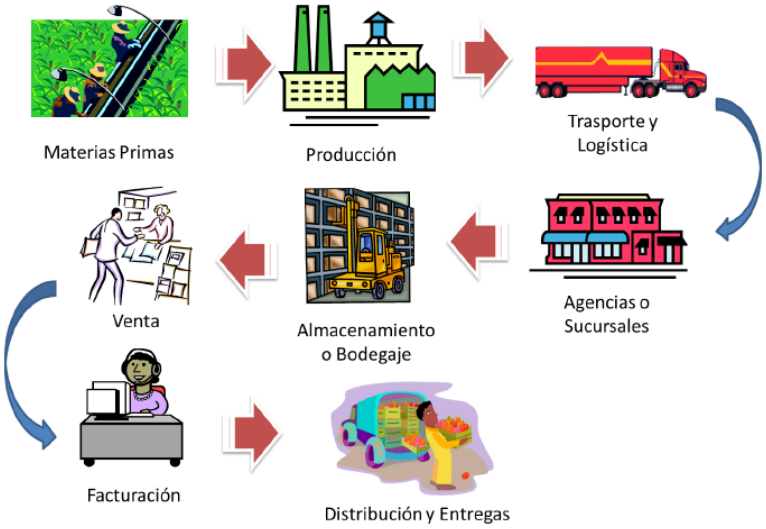

Figura 2.1: Cadena de Abastecimiento. Fuente: Sitio http://logistiempresas.blogspot.com/

2.2.2. Definición de la logística

La logística agrupa las actividades que ordenan los flujos de materiales coordinando recursos y demanda para asegurar un nivel determinado de servicio al menor costo posible.

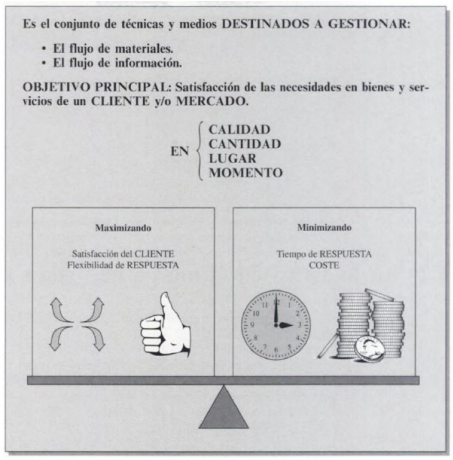

Figura 2.2: Definición de la logística. Fuente: Manual de logística Integral. Pau i Cos, Jordi.

2.2.3. Objetivos de la logística

El objetivo principal de la logística es poder responder a la demanda con un buen nivel se servicio, haciendo que los costos sean los menores posibles. En definitiva suministrar:

- Sólo los productos que se necesiten: producir productos que no se requieran y almacenarlos, son ejemplos que evidencian el incurrir en costos innecesarios.
- En el momento oportuno: los productos deben estar cuando los clientes los requieran, ya que el valor que ellos adquieren puede ir cambiando en el tiempo según las apreciaciones del consumidor.
- En las cantidades requeridas: la demanda de los productos puede ir variando, por lo que la oferta reacciona y se adecúa a ello. Es muy importante ahondar y considerar aspectos como la demanda estacional, donde la demanda se incrementa según el período del año que se encuentre, como lo es en el caso de paraguas y helados.
- Con la calidad apropiada: los clientes exigen ciertos requerimientos para los productos y servicios. Se debe considerar la valoración, la que es asociada a factores tales como el uso.
- Al menor costo posible: es fundamental no derrochar recursos, es común tener procesos poco eficientes y ciertos errores, los cuales al ser detectados se pueden mejorar y hacer que la operación sea más óptima.

Para lograr todo lo anterior se debe considerar:

- Como prioridad debe estar el cliente y sus necesidades. Son ellos los que sostienen el negocio y, por ende, sus necesidades priman frente a las de otros stakeholders.
- Reaccionar de forma rápida frente a los pedidos de los clientes, ya que el cliente otorga un plazo que debe ser cumplido. Tener un buen manejo del tiempo es vital, ya que se debe estar preparado para inconvenientes que puedan retrasar la entrega del producto o servicio, menor tiempo de reacción incrementa las probabilidades de cumplimiento.
- Eliminar los stocks innecesarios, ya que pueden ocupar espacios que se requieren para materiales más importantes, al fabricarlos se incurre en gastos y tiempos innecesarios, entre otros.

- Tener la mayor flexibilidad posible, ya que el mercado es cambiante por estar sujeto a muchos factores, los cuales se pueden manifestar de manera inesperada.

Se deben colocar los productos adecuados, en el lugar adecuado y en el momento adecuado. Estos productos al estar en ese lugar deben llegar en las condiciones que el cliente exige, de manera de generar satisfacción en ellos y, por consiguiente, aumentar los niveles de rentabilidad. Se gestionan de la manera más conveniente los recursos humanos y los financieros, con el fin de reducir los costos logísticos.

El garantizar la calidad de servicio al menor costo posible permite desarrollar una ventaja competitiva y mejorar la rentabilidad de la empresa. Los lineamientos para conseguir lo anterior son variados. Hoy el cliente valora, por ejemplo, el tema ambiental; por lo que las empresas han considerado este aspecto en el desarrollo de los bienes y servicios. Pueden existir dos productos iguales, cumpliendo la misma función, pero el cliente valora que los procesos no tengan gran impacto al medioambiente. Por otra parte, el tema estratégico es fundamental en la logística, factores como el descrito anteriormente, el tema de la seguridad, certificación, entre otros; no son vitales para el cumplimiento del objetivo, pero agregan valor a ojos del cliente.

2.3. Almacenes

Almacenamiento se define como la acción de guardar algún objeto, con la finalidad de poder recurrir a él tiempo después cuando este sea necesario. Hoy, con las nuevas tecnologías, se habla del almacenamiento de cosas intangibles como son los datos. Para aquellos objetos tangibles, se necesita un lugar físico adecuado. Las características del lugar varían según la función y el producto que se almacene, por ejemplo, temperatura y luminosidad. Los objetos al estar almacenados a través del tiempo, pueden ver dañada su calidad, por lo que los almacenes deben ser lugares acondicionados para preservar ciertas características a través del tiempo.

Los almacenes tienen que tener las condiciones óptimas, para que en el minuto que los

productos se utilicen, estos presenten niveles óptimos de calidad.

Los almacenes cumplen un rol fundamental cuando se trata de entregar productos a los clientes que no pueden ser producidos en este instante o lugar. Es importante mantener productos en stock, ya que al no tenerlos se pueden incumplir los plazos que dicta el cliente.

Es fundamental mantener un buen orden en ellos y que la distribución sea la correcta, ya que esto ayuda mucho en la reducción de tiempos y costos. Es necesario localizarlos en lugares estratégicos y poder distribuir de manera óptima los espacios, ya que manejar bien estos aspectos ayuda mucho a la operación.

2.3.1. Función de los almacenes

El almacenamiento de productos posee tres funciones:

1. Coordinar los desequilibrios entre oferta y demanda.
2. Reducción de costos.
3. Complemento al proceso productivo.

2.3.1.1. Almacenamiento para coordinar los desequilibrios entre oferta y demanda

Escasos son los productos cuya demanda coincide, en tiempo y cantidad con su oferta. Una buena calidad de servicio al cliente, es decir, que los productos demandados se encuentren disponibles en el punto de venta para poder ser entregados cuando estos son requeridos, hace que las ventas se incrementen. Se almacena cerca de estos puntos para disminuir al máximo la demanda insatisfecha por problemas en el transporte o cualquier otro tipo de inconvenientes.

Ciertos productos tienen una demanda de carácter estacional, pero para reducir sus costos de fabricación, es mejor producirlos todo el año pero el volumen a almacenar es alto. Un caso a la inversa, es cuando se tiene que producir todo de una vez y luego almacenar

para poder proveer durante todo el año, como lo ocurrido en la industria conservera.

Cuando los precios son cambiantes, se puede especular que éstos vayan al alza y se realizan compras con el fin de no pagar más por aquellos productos, aun cuando almacenarlos implica un costo.

2.3.1.2. Almacenamiento para la reducción de costos

En ciertas ocasiones, el comprar grandes lotes resulta muy conveniente. Los costos de manipulación y transporte pueden ser reducidos y aquel ahorro ser mayor que los costos de almacenamiento.

2.3.1.3. Almacenamiento como complemento al proceso productivo

Se aplica principalmente para los productos alimenticios que requieren un tiempo de maduración, como quesos, vinos, embutidos, entre otros.

2.3.2. Clases de Almacenes

Existen diferentes criterios para clasificar los almacenes, por lo tanto varias clases. Los criterios son:

- Según la naturaleza de los artículos almacenados.
- Según su función en la logística.
- Según su régimen jurídico.
- Según las técnicas de manipulación.

2.3.2.1. Clasificación de almacenes según naturaleza de productos almacenados

- Almacenes de materia prima.
- Almacenes de productos semielaborados.
- Almacén de productos terminados.

- Almacén de piezas de recambio.
- Almacén de materiales auxiliares.
- Archivos de información.

2.3.2.2. Clasificación según su función en la logística

- Almacenes de planta: Contienen productos terminados en espera de ser distribuidos a los almacenes de campo.
- Almacenes de campo: Pueden ser regionales, locales, provinciales, etc. Tienen como misión el mantenimiento de los stocks del sistema logístico.
- Almacenes de tránsito o plataformas: Creados para atender las necesidades de transporte, compensan costos de almacenamiento con mayores volúmenes transportados.
- Almacenes temporales o depósitos: Dedicados, principalmente, al paso de productos perecederos.

2.3.2.3. Clasificación según régimen jurídico

- Almacén propio.
- Almacén en alquiler.
- Almacenes en Leasing.

2.3.2.4. Clasificación según las técnicas de manipulación

- Convencionales: Con estanterías de acceso manual servidas por carretillas.
- En bloque: Sin estructura de soporte.
- Compactos drive-in: Sin espacio entre pasillos, se pueden introducir carretillas dentro de estanterías.
- Dinámicos: Almacenamiento móvil, formado por bloques compactos, sin pasillos.

- Móviles: movimiento de toda la estructura de estanterías. Se puede abrir un pasillo entre cualquiera de ellas, manteniendo el resto compacto.
- Semiautomáticos y automáticos
- Autoportantes: las estanterías tienen doble función, se almacenan productos y funcionan como soportes del edificio.

2.4. Pronóstico de la demanda

El pronosticar la demanda es clave para poder definir las estrategias, de manera de estar preparados para enfrentar los distintos tipos de escenarios. Las empresas tienen como limitante la capacidad, por lo que responder a una demanda que la exceda, requiere de inventario para suplir aquello que no puede ser generado en este momento, por lo que se debe estar preparados y para ello se debe conocer el escenario futuro. Para adecuar la oferta a la demanda se habla de los procesos de empuje y tirón.

- Proceso de empuje: son procesos que se realizan antes de que se produzca la demanda, de manera de generar más de lo que se necesita en ese instante para poder guardar y utilizar en otro período de tiempo.
- Proceso de tirón: son aquellos procesos que se realizan para poder suplir aquella demanda.

Los pronósticos se caracterizan por:

1. Estar equivocados, siempre se debe evaluar un rango de error de la cantidad que se estima. El considerar ese error es fundamental, ya que con él se evalúa el nivel de flexibilidad que se debe tener, estar preparados para un valor sin manejar un margen de error puede ser muy perjudicial para la compañía.
2. Los pronósticos a largo plazo son menos certeros que aquellos de corto plazo. La desviación estándar es mayor para el primer caso.

3. Los pronósticos agregados son más exactos a los desagregados. Entre más elementos se consideren, la desviación será menor.

4. Mientras más arriba esté la cadena en una compañía (más lejos del consumidor), mayor será la distorsión la de información que recibe, generando pronósticos menos certeros.

Muchas veces al realizar pronósticos se tiende a considerar sólo la demanda pasada y no se analiza el entorno de ese momento. Hay factores políticos, sociales y económicos donde la compañía no tuvo injerencia. Existen otros, donde la compañía influye mucho en esa demanda, como: descuentos, publicidad, atraso en tiempos de entrega, entre otros (Chopra y Meindl, 2008).

2.4.1. Tipos de pronóstico

- Cualitativos: Es un pronóstico subjetivo, ya que depende del juicio de la persona encargada. Hay factores claves, como la experiencia, que hacen que el pronóstico sea más certero.

- Series de tiempo: Es el pronóstico cuantitativo más sencillo, ya que se basa en la demanda histórica. Se utilizan cuando la demanda sigue ciertos patrones de comportamiento. Resulta ser una buena herramienta preliminar en algunos casos.

- Causal: Estos pronósticos consideran los factores del ambiente (economía, problemas políticos, sociales, entre otros). Hay factores que no se pueden observar mi suponer fácilmente, por lo que averiguar en profundidad el contexto de ese minuto y los factores que pudieron haber intercedido, ayuda a entender el comportamiento y tener más criterio al pronosticar.

- Simulación: En este método se simula el comportamiento del cliente, donde imitan las posibles elecciones que puede realizar. Hacer esto, sirve para dar respuestas aproximadas a ciertas preguntas. Al realizar simulación, se puede emplear métodos causales con series de tiempo.

Es difícil saber cuál es el tipo de pronóstico más adecuado en cada caso, por lo que la recomendación es una combinación de ellos para obtener mayor exactitud.

2.5. Gestión de Inventarios

Los inventarios son fundamentales para poder regular la oferta en un momento determinado, de manera de poder cumplir con la demanda. Es importante tener la demanda esperada para poder gestionarlos de manera correcta.

La gestión de inventarios apunta a tener el inventario adecuado, ya que si falta no se cumple la demanda y al tener exceso, se almacenan productos innecesarios que generan costos innecesarios. Mucho inventario reduce la rentabilidad, mientras que si se tiene muy poco no se logra cumplir con la demanda del cliente y se ve afectada la confianza de éste hacia la organización.

Los inventarios afectan en gran manera la operación cotidiana y tienen un gran peso en la respuesta que se le da al cliente. El inventario requiere de inversión, ya que se habla de recursos que no se ocuparán en ese minuto y podrían invertirse en acciones del momento. Quienes estén a cargo de su gestión deben valorar la gran ayuda que presta a futuro y "sacrificar" ciertos recursos de ese período para poder prevenir problemas a futuro que pudieran ocasionar grandes pérdidas.

2.5.1. Presiones para mantener inventarios altos y bajos

Para los inventarios bajos influye mucho el costo anual de mantener una unidad de inventario, que fluctúa entre un 15 % - 25 % de su valor. Las presiones para mantener un nivel bajo de inventario son (Chapman, 2006):

- Costo de capital: costo de oportunidad de invertir en un activo, en relación con el rendimiento esperado con activos de riesgo similar.
- Costos de almacenamiento y manejo: el inventario ocupa espacio físico y requiere de esfuerzos para ser transportado. Se incurre en gastos cuando, por ejemplo, se ocupan máquinas para manejarlo y si la empresa alquila el espacio físico. También por el hecho de que ese espacio pudiera ser ocupado por otro elemento.

- Impuestos, seguros y mermas: se pagan más impuestos cuando los inventarios son altos a final de año y el costo de aseguramiento también se eleva. Las mermas se pueden generar por obsolescencia, es decir, que el producto ya no se puede usar o vender en su valor total debido a que el mercado presenta fluctuaciones. La segunda forma en la que se generan mermas es por el robo de clientes y empleados, que en algunas empresas representa un porcentaje bastante alto.

Mantener inventarios altos, generalmente es presionado por:

- Servicio al cliente: la confianza del cliente se ve muy afectada si no se le entrega su producto en los plazos acordados, es por ello que se tiende a tener un gran número de inventario y así tener una respuesta rápida.

- Costo por hacer pedidos: se paga un costo al hacer pedidos, el cual no varía para ciertas cantidades de pedidos. Quien realiza los pedidos, prefiere encargar grandes cantidades porque el hacer muchos pedidos involucra más dinero y tiempo.

- Costo de preparación: el reajustar máquinas, el tiempo que se requiere para hacer los cambios, limpieza de máquinas, entre otros; son factores que se consideran para tener inventarios más altos. El costo de preparación es independiente del tamaño del pedido, por lo que se privilegia pedir grandes lotes.

- Utilización de mano de obra y equipos: mediante la creación de mayor inventario, la gerencia puede incrementar la productividad de la mano de obra y la utilización de las instalaciones.

- Costo de transporte: el servicio de transporte tiene asociada una capacidad, muchas veces para aprovechar al máximo esta capacidad se transportan lotes más grandes y así se reduce el número de viajes. Esto aplica para los costos de transportes entrantes y salientes.

- Pagos a proveedores: los proveedores pueden tener precios distintos a lo largo del año o realizar descuentos, por lo que las empresas prefieren encargar mayor número de objetos para aprovechar los menores precios.

2.5.2. Sistema de inventarios ABC

Es sabido que cuando se maneja un gran número de elementos, unos son más importantes que otros. Al analizar cuánto es lo que representa cada uno del total, se puede observar que existe un pequeño grupo que representa la mayor parte.

Al solucionar problemas, es importante dar prioridad a los elementos más importantes, incluso despreciando aquellos que no tienen una gran incidencia en el problema total. Aquello permite solucionar en gran parte el problema, empleando menor tiempo para ello. Las empresas requieren de soluciones rápidas, dar una buena y pronta solución es a lo que apunta la ingeniería.

De lo anterior nace el principio de Pareto, conocido también como "Principio del Ochenta Veinte". Fue llamado así en honor al economista italiano Vilfredo Pareto, que fue quien lo creó.

En todos los problemas, la solución de unas cuantas causas, solucionan la mayor parte del problema. Estas causas son llamadas "vitales", que representan alrededor de un 20 % de las causas totales que originan un problema. Al solucionar estas causas, se soluciona la gran mayoría del problema, alrededor de un 80 %. La clasificación ABC, determina tres grupos, los cuales representan el nivel de importancia de aquellos elementos en el problema.

La clasificación de los elementos, depende de lo que se quiera solucionar, por lo que para un mismo grupo de elementos la clasificación varía según el enfoque. El problema, por ende la clasificación, puede enfocarse en: costo, ventas, rotación, rentabilidad, entre otros.

2.5.2.1. Grupo A

Es el grupo de mayor importancia dentro de esta clasificación, ya que al dar solución a cada elemento de este grupo, se soluciona la mayor parte del problema. Aproximadamente un 10 a 20 % de los elementos están en este grupo, que solucionan en teoría un 70 %-80 %

del problema.

Por lo general, son los que generan la mayor parte de las utilidades, su proceso productivo está más estandarizado porque es más recurrente que otros. Siempre deben estar disponibles, ya que el nivel de servicio debe ser casi de un 100 % y sus proveedores son los de mayor importancia, por lo general se hacen pedidos semanales. Aquellos elementos por lo general tienen un costo de venta bajo y son los más solicitados, por lo que su nivel de stock es más alto que el resto de los elementos.

Los pronósticos de demanda son los más acertados, ya que su comportamiento está definido por patrones claros.

2.5.2.2. Grupo B

Es un grupo de importancia media, que representan alrededor de un 15 %-20 % del problema total. Quienes componen este grupo son un 30 % aproximadamente de todos los ítems que componen el problema.

Estos elementos deben tener un stock de seguridad, pero el nivel debe ser bajo en comparación al grupo A. No existe un problema mayor si los proveedores fallan, pero el nivel de confiabilidad de estos debe ser aceptable. En términos de venta y rotación representan un porcentaje cercano a 15 %-20 %.

No se invierte tanto en ellos, pero se debe tener una cuota razonable. Su costo de venta, rotación e inventario son de nivel medio. Los pronósticos de demanda no son muy acertados.

2.5.2.3. Grupo C

Es el grupo que tiene menor importancia, pero el que agrupa más elementos. Estos elementos son el 50 %, pero representan sólo un 5 % del problema total.

No se invierte mucho en ellos ya que tienen una muy baja demanda y rentabilidad (alrededor de un 5 %) y mantenerlos para la empresa representa un costo mayor.

Los pronósticos de demanda no son acertados para esta categoría, muchos de los elementos son candidatos a quedar obsoletos y saber el minuto en que serán solicitados se torna complejo. El Stock de seguridad, en algunos casos, puede ser obviado.

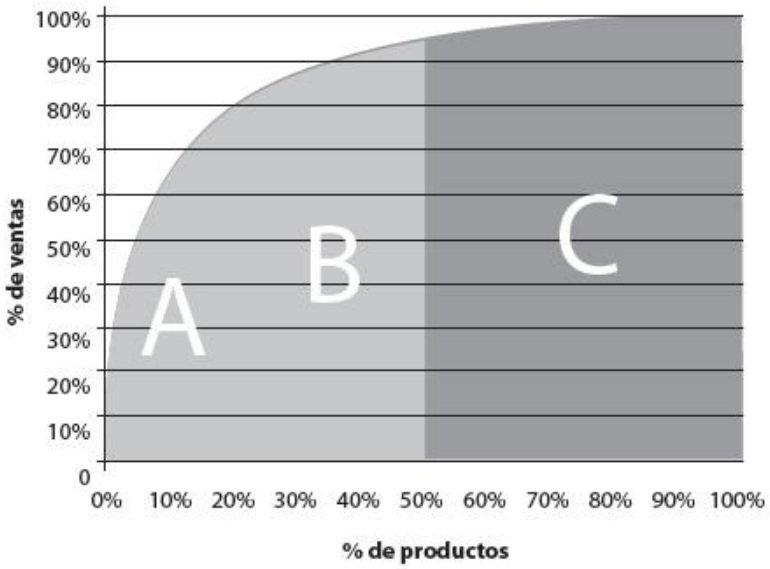

Figura 2.3: Gráfico análisis ABC. Fuente: Gestión Logística Integral. Mora, Luis.

2.6. Modelos de Optimización

La programación matemática ha resultado ser una de las formas más eficientes de encontrar decisiones de optimización en diversas áreas de estudio, junto con lo anterior, el desarrollo de nuevos ordenadores, con mayor potencia de cálculo y de procesamiento de datos, ha permitido un desarrollo más complejo de los planteamientos de los problemas, agregando un número mayor de decisiones, restricciones y parámetros que asemejen el problema planteado, lo mayor posible, al mundo real, pudiendo obtener excelentes resultados en un periodo prudente de tiempo.

2.6.1. Fases de un Modelo de Optimización

La resolución del problema matemático representa solo una parte muy acotada del todo el trabajo que existe detrás. En los estudios de investigación de operaciones, la recopilación de datos, formulación de los posibles problemas y los análisis posteriores de los resultados abarca una importancia mayor (Hillier y Lieberman, 2010). Para mostrar un orden lógico de lo mencionado, a continuación, se presentan los pasos a desarrollar en la resolución de una problemática utilizando un modelo de optimización:

1. **Definición del problema de interés y recolección de datos relevantes:** es necesario crear un resumen de la problemática, este debe englobar la mayor cantidad de información que permita abarcar todas las aristas del problema que será analizado. En esta etapa están contempladas la determinación de los objetivos, las restricciones sobre las cuales es posible operar, los límites temporales para el modelo, los recursos necesarios y disponibles, etc. Esta es una etapa crítica para las acciones futuras y conclusiones del estudio, puesto que encontrar una respuesta *"satisfactoria"* es casi imposible si se plantea un problema de manera *"equivocada"*.

   Cuando se tiene el planeamiento básico del problema a estudiar, el siguiente paso es la recolección de los datos que servirán para comprender de manera exacta dicho problema. En la actualidad, esta actividad es un gran sumidero de tiempo debido a que las organizaciones cuentan con sistemas de información que no permiten una adecuada recolección y extracción de datos (como es el caso de estudio en esta memoria), o por el contrario, la gran disponibilidad de información entorpece la selección de aquella que sea atingente al problema en estudio.

2. **Formulación de un modelo matemático que represente el problema:** una vez que los objetivos y el problema están bien definidos, la siguiente etapa consiste en la formulación de un modelo matemático que sea capaz de representar la esencia del problema, mostrar sus interrelaciones y representar un análisis completo del fenómeno.Los modelos matemáticos son representaciones del problema planteado, que utiliza símbolos y expresiones matemáticas para su formulación. Estos modelos tienen ventajas significativas sobre el planteamiento verbal de la problemática en estudio, esto debido a que permite una descripción mucho más concisa del problema, permite encontrar las relaciones de causa y efecto entre las variables, facilita el mejoramiento continuo de las soluciones por medio de análisis de sensibilización, pueden utilizarse potentes softwares especializados que encuentren soluciones optimas en un periodo de tiempo reducido, entre otros factores.

   Los modelos matemáticos están conformados por varios elementos, las **variables de decisión**, corresponden a una o más decisiones cuantificables para las que se debe encontrar un valor especifico. La **función objetivo** hace referencia a la relación que existe entre las variables de decisión, expresada en una función matemática. Las **restricciones** son expresiones matemáticas (como ecuaciones y/o inecuaciones) que limitan los valores que pueden tomar las variables de decisión dentro del modelo. Las **constantes** (coeficientes, o bien, “el lado derecho de las restricciones"), son parámetros conocidos dentro del modelo. El modelo matemático puede entonces responder, a modo de ejemplo, qué valores deben tomar las variables de decisión, restringida por las restricciones asociadas, con sus parámetros dados, con el objetivo de maximizar el valor de la función objetivo.

3. **Desarrollo de un procedimiento basado en computadora para derivar una solución para el problema a partir del modelo:** con el modelo matemático formulado, esta etapa consiste en el desarrollo de un procedimiento computacional que sea capaz de encontrar una solución al problema descrito. Para esta parte, actualmente se cuenta con numerosos softwares especializados en resolver distintas naturalezas de modelos matemáticos (lineales, enteros, entero - mixtos, etc.), por nombrar algunos está el complemento Solver de Microsoft Excel, AMPL, Lingo, GAMS, entre otros.

En algunas ocasiones y debido al nivel de complejidad presente en el modelo matemático, desarrollar algún algoritmo computacional, o bien, utilizar alguna herramienta existente para la solución del problema, genera pérdidas de tiempo y recursos económicos demasiado altos para hacer viable esta acción, es aquí donde el desarrollo de procedimientos heurísticos permite obtener una respuesta, si bien no optima, bastante aproximada a la buscada (subóptima).

4. **Prueba del modelo y mejoramiento de acuerdo con las necesidades:** . es prácticamente imposible formular un modelo matemático preciso al primer intento, siempre está la posibilidad de dejar fuera variables, parámetros o restricciones que tienen directa incidencia sobre los fenómenos observados en la realidad, es por este motivo que el modelo debe pasar por un periodo de revisión. A medida que se prueba y se refina el modelo, llega un punto en que el investigador concluye que el modelo proporciona resultados confiables y válidos (aunque, sin duda alguna, nunca será posible eliminar todos los problemas, pudiendo algunos ser imposibles de detectar). El proceso descrito de prueba y mejoramiento continuo de un modelo para incrementar su validez, se denomina como **validación del modelo**.

   El procedimiento de validación del modelo no puede definirse de manera estándar para todos, puesto que depende directamente del tipo de formulación matemática que tenga el modelo. Sin embargo, ciertas actividades pueden replicarse a nivel general, entre esas destacan análisis dimensionales, para confirmar la congruencia de los resultados y la variación de parámetros y variables de decisión, comprobando si los resultados responden a los cambios controlados. Un método más sistemático es la llamada prueba de retrospectiva, la cual consiste en aplicar el modelo a un escenario pasado, buscando demostrar que, si se hubiera contado con el modelo en el pasado, se hubieran obtenidos mejores resultados que los registrados.

5. **Preparación para la aplicación del modelo:** si el modelo tiene como objetivo utilizarse en el tiempo, esta etapa consiste en instalar un sistema, ampliamente documentado, que pueda ser aplicado según lo establecido por la administración. Este sistema debe incluir el modelo, procedimiento de solución y el posterior análisis de resultados.

6. **Implementación:** etapa crítica puesto que es aquí donde se percibirán realmente los beneficios obtenidos del modelo, el éxito de esta etapa depende directamente del apoyo entregado por gerencia al proyecto.

   Esta última etapa cuenta con varios subpasos, en primer lugar, el encarado o grupo investigador explica de manera clara el nuevo sistema a gerencia, luego se definen las responsabilidades para su correcta implementación, para finalmente capacitar a los actores involucrados, de esta manera, asegurar el correcto funcionamiento de las operaciones logísticas posteriores.

2.6.2. Tipo de Modelos de Optimización

Es posible agrupar los modelos de optimización de diversas formas, todo depende del enfoque y la finalidad que busca el investigador. A continuación, se presenta un resumen de las más notables utilizadas en la literatura general:

2.6.2.1. Según el uso del Resultado del Modelo

- **Modelos Normativos:** este tipo de modelos requiere de un planteamiento de un modelo matemático con una función objetivo y restricciones. Estos modelos se utilizan explícitamente para la toma de decisiones, en base al resultado entregado por el modelo de optimización.

- **Modelos Descriptivos:** los modelos descriptivos sirven para tener una mejor visión del problema que se quiere atender. Estos modelos abarcan todas aquellos que no tengan, necesariamente, una estructura matemática que defina la solución a implementar, por nombrar algunos ejemplos están los diagramas de grafos, teoría de colas, entre otros.

2.6.2.2. Según Variable de Tiempo

- **Modelo Estático:** corresponde a los modelos de optimización que no consideran la variación de los parámetros y restricciones en el tiempo. El resultado del modelo no

varía en el tiempo, asumiendo que los parámetros no cambian significativamente a corto plazo.

- **Modelo Dinámico:** la variable temporal adquiere relevancia, ya que influye a la toma de decisiones del modelo. Sin importar cuales hayan sido el resultado de la decisión anterior, el modelo matemático nos permite encontrar un resultado óptimo para los períodos que queden todavía en el futuro.

2.6.2.3. Según Probabilidad

- **Modelos Determinista:** en estos modelos se tiene total certeza sobre los valores de los parámetros a futuro, no presentando cambios a lo largo del horizonte temporal contemplado en el modelo de optimización. No se hace necesario conocer la distribución probabilística de los factores, dejando fuera su efecto.

- **Modelos Estocástico:** en los modelos estocásticos, al menos un factor o variable está sujeto a una distribución de probabilidad. Estos modelos son capaces de hacerse cargo de esta situación, recogiendo los efectos de la incertidumbre o aleatoriedad, encontrando una solución óptima en diversos escenarios.

2.6.2.4. Según Formulación Matemática

- **Modelos Lineal:** si en la formulación del modelo de optimización, todas las relaciones matemáticas en las restricciones y función objetivo son lineales, vale decir, corresponden a polinomios de primer grado, se habla de un modelo de programación lineal. Estos modelos son preferibles para enfrentar una problemática, esto debido a que existe extensa literatura y modelos de alta eficiencia de cálculo, permitiendo encontrar soluciones en periodos reducidos de tiempo.

- **Modelos No - Lineales:** son aquellos modelos en que su formulación incluye una o más relaciones de tipo no – lineal, tanto en la función objetivo, como en las posibles restricciones. En general, los modelos no – lineales pueden ser “linealizados”, sin embargo, es posible que se pierdan aspectos relevantes del problema, debiendo ser muy prudente con su manipulación.

2.6.3. Modelo de Programación Entera

Una clasificación adicional a los problemas de optimización, es cuando se requiere que las variables de decisión adquieran un valor discreto. Por ejemplo, en algunos modelos se utilizan variables binarias, que adquieren valores 1 o 0, donde 1 representa una decisión afirmativa y 0 lo contrario (Pérez, 2014).

Dentro de este tipo de problemas, es posible clasificarlos según los valores que pueda adoptar las variables de decisión en la formulación del modelo, estas son:

- **Programación lineal entera:** en este modelo de optimización, todas las variables de decisión adoptan valores enteros.

$$
\begin{aligned}
& max\ c^T x \\
& s.a: \quad Ax \leq b \\
& x \in \mathbb{Z}_0^+
\end{aligned}
$$

  Donde A es una matriz $m\ x\ n$, c y x son vectores columna $n-$dimensionales, n un vector columna $m-$dimensional y $\mathbb{Z}_+^n$ representa el espacio $n-$dimensional de enteros no negativos.

- **Programación lineal entera mixta:** en el caso de que no todas las variables de decisión, necesariamente, deban tomar valores enteros, permitiendo que algunas tomen valores reales, se habla de un problema de optimización entero mixto.

$$
\begin{aligned}
& max\ c^T x + f^T y \\
& s.a: \quad Ax + By \leq b \\
& x \in \mathbb{R}_+^n \\
& y \in \mathbb{Z}_+^p
\end{aligned}
$$

Donde A, c, x y b son como el inciso anterior, B es una matriz $m\ x\ p$, f e y son vectores columna $p-$dimensionales, $\mathbb{Z}_+^p$ el espacio $p-$ dimensional de enteros no negativos y $\mathbb{R}_+^n$ el espacio $n-$dimensional de números no negativos.

- **Programación entera binaria:** si el valor de todas las variables de decisión pertenece a un conjunto binario $\{1, 0\}$, se tiene que el modelo corresponde a un problema binario.

$$max\ c^T x$$
$$s.a: \quad Ax \leq b$$
$$x \in \mathbb{B}^n$$

Donde A, c, x y b son igual a las descritas en los incisos anteriores y $B = \{1, 0\}$.

2.7. Modelos de Slotting

En logística el slotting es la forma en cómo se ubican estratégicamente los productos con el fin de optimizar la eficiencia del manejo de materiales. En otras palabras es la herramienta que se encarga del almacenamiento de la mercancía teniendo en cuenta las características del producto y las necesidades del negocio.

La optimización del almacenamiento se basa en varios aspectos como la rotación, las ventas actuales, los movimientos históricos, pronósticos de ventas, entre otros.

El proceso de slotting comienza clasificando la mercancía basándose en la frecuencia con la que es seleccionada. Para hacerlo es necesario apoyarse en el reporte de ventas y la historia transaccional, por mencionar algunas. Una vez clasificada la mercancía se deben examinar las características del lugar de almacenamiento. Analizar la distancia entre el lugar para recolección y despacho, y la accesibilidad con la que se cuenta para llegar al lugar y hacer el retorno.

Es importante tener en cuenta que los productos varían de tamaños, es por eso que a la hora de almacenarlos el espacio debe estar ajustado a las características del producto.

Beneficios:

- Uso eficiente del espacio.
- Aumento de la productividad.
- Identifica oportunidades para mejorar las operaciones reduciendo la cantidad de tiempo, esfuerzo y espacio.
- Mejorar el uso de recursos humanos y de equipos al reducir los tiempos de viajes.
- Perfecciona la distribución correcta de productos.
- Mejora el Proceso de “Picking”, ayudando a que se haga a tiempo y al mejor costo.
- Reduce los daños de productos ya que los clasifica según el peso, tamaño de caja, contenedor, y tipos de paquetes.
- Capacidad de rápida respuesta ante cualquier nuevo requerimiento.
- Reducción de costos operativos.
- Ahorro a largo plazo.

El slotting aprovecha cada lugar de productividad, de utilización de espacio y de costo de las instalaciones de almacenamiento o distribución. En cada firma, el slotting bien implementado podría convertirse en una ventaja competitiva de gran impacto.

2.8. Método Centro de Gravedad

En el método del centro de gravedad se determina la mejor ubicación de una instalación en base a la ubicación geográfica de los puntos meta (destino), el volumen enviado y el costo de transporte. Este método es usado ampliamente para la localización de centros de distribución donde la principal preocupación es minimizar los costos de envío asociados con la propia actividad de la empresa. Este método supone que los costos de transporte de entrada y salida son iguales y no incluye los costos especiales de despacho para las cargas que no sean completas. El modelo describe el costo total con la siguiente función objetivo:

$$CT = \sum_i d_i R_i V_i \tag{2.1}$$

Donde d_i es la distancia del punto i a la instalación a localizar, R_i corresponde al costo de transporte en el punto i y V_i es el volumen en el punto i. La distancia d_i a su vez se define como:

$$d_i = k \sum_i \sqrt{\left(x_i - \bar{x}\right)^2 + \left(y_i - \bar{y}\right)^2} \tag{2.2}$$

k es un factor de escala para convertir una unidad de un índice de coordenadas, en una unidad de distancia (metros, kilómetros, etc.).

Las ecuaciones de las coordenadas del centro de gravedad corresponden a:

$$\bar{X} = \frac{\sum_i V_i R_i X_i / d_i}{\sum_i V_i R_i / d_i} \qquad \bar{Y} = \frac{\sum_i V_i R_i Y_i / d_i}{\sum_i V_i R_i / di} \tag{2.3}$$

X_i , Y_i son las coordenadas de origen y demanda.

Con estas fórmulas es posible, mediante iteraciones, encontrar el punto donde la variación del valor de la función de costos, es lo suficientemente pequeña, terminando el proceso y encontrando el punto ideal a localizar una instalación.

3 | Antecedentes

3.1. Antecedentes de la Empresa

La firma Maco S.A. es una empresa experta en el área automotriz, transporte de carga y de pasajeros. Desde su formación, hace más de 70 años, Maco ha desarrollado sus actividades en el área de importación, distribución y comercialización de bienes de capital y de consumo durables.

La casa matriz de Maco S.A, en donde se encuentran sus marcas Faw, Dongfeng, Camiones Usados MACO, Buses Daewoo, Camiones International, Automóviles Faw y Lifan, está ubicada en la comuna de Quilicura, en el Parque Industrial Buenaventura de la ciudad de Santiago. Esta cuenta con oficinas administrativas, salón de exhibición, talleres de servicio, desabolladura y pintura, todo especialmente diseñado para camiones y buses. La dirección es Av. Eduardo Frei Montalva 9829, Quilicura, Santiago, Chile.

Figura 3.1: Marcas de automóviles distribuidos a Maco S.A. Fuente: Elaboración Propia.

La firma también cuenta con oficinas regionales ubicadas en las principales ciudades del país como Antofagasta, Valparaíso, Rancagua, Talcahuano y Puerto Montt además de una amplia red de distribuidores a lo largo del país tanto en camiones como en automóviles.

Figura 3.2: Marcas de camiones y buses distribuidos a Maco S.A. Fuente: Elaboración Propia.

Dentro de sus ejecutivos más notables se destaca a Francisco Margozzini (Gerente General de Camiones), Ricardo Núñez (Gerente de Camiones International), Eric Griffiths (Gerente Automotriz), Patricio Bravo (Gerente de Repuestos Maco) y Sergio Villacura (Jefe de Abastecimiento de Repuestos).

Maco S.A. es propiedad de tres grupos económicos chilenos: La familia Avayú, controladores de Empresas Indumotora S.A., el grupo Luxinvest S.A. de la familia Hintze y el grupo BM Inversiones S.A. de la familia Böttinguer. Cada uno de ellos posee un 33 % de participación.

Figura 3.3: Inversionistas de Maco S.A. Fuente: http://maco.cl/maco-chile.

Actualmente, las marcas de los diversos repuestos que maneja el centro de distribución están agrupadas en 3 empresas: Maco International, Global Motor y Motor Trade. A continuación, se presenta un cuadro resumen con las empresas y sus respectivas líneas de negocios:

Tabla 3.1: Empresas y sus líneas de Negocios. Fuente: Elaboración Propia

Maco International	Global Motor	Motor Trade
International	DongFeng Camiones	Faw Camiones Faw Autos Daewoo Buses Lifan

3.2. Situación Actual

Para la bodega en estudio, las operaciones pueden dividirse en dos grandes procesos, la recepción de embarques con mercadería, y su posterior almacenaje, y la recolección y despacho de pedidos. En el presente documento, se presentará una descripción y posterior análisis sobre los procesos de recolección, aunque el lector puede consultar los diagramas en anexo A para conocer los demás procesos involucrados en las gestiones del centro de distribución.

3.2.1. Recolección en Centro de Distribución

La bodega debe responder a los pedidos que se cargan al sistema cada vez que se realiza una venta, es en este punto donde comienza el proceso de recolección. Mediante un usuario propio en el ERP, Cars, el bodeguero descarga el documento "Lista de Pedido Por Ubicación" y procede a la recolección de los ítems solicitados. Si en la ubicación que indica el sistema existen diferencias de stock, se solicita al jefe de abastecimiento un "Ajuste en Más", si existen más ítems, o un "Ajuste en Menos" en caso contrario. Si no existe diferencia, el bodeguero, al completar la recolección, deja la mercadería en una zona especial para su revisión, embalaje y posterior despacho. En caso de concordar el pedido con lo recolectado, el pedido procede a ser despachado de la bodega (para mayor detalle del flujo de proceso, ver Figura A.1 y Figura A.2). En caso que el pedido este incompleto, llegue en mal estado a destino o existan ítems con códigos cambiados, se levanta una *"No Conformidad"* que debe ser entendida por el jefe de bodega.

El centro de distribución cuenta con tres puntos de salida y una de entrada, según sea el destino del repuesto, las denominaciones de estas zonas de salida son definidas como *"Despacho"*, *"Mesón"* y *"Taller"*. Para el caso de la recepción de mercadería, estas son realizadas en la zona de despacho. Es importante destacar que las zonas de mesón y taller corresponden a ventanillas que conectan a la bodega con la sala de ventas y con el taller, respectivamente, por lo que el volumen movilizado por estos sectores es menor respecto a despacho.

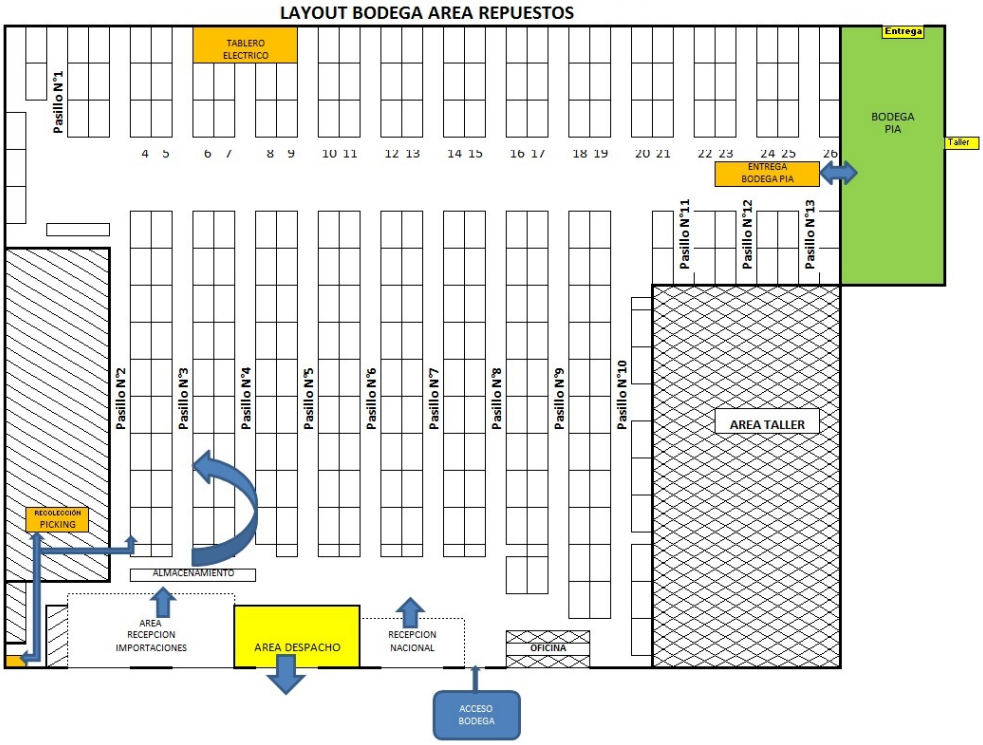

Figura 3.4: Layout Centro de Distribución. Fuente: Elaboración Propia

Actualmente, la dotación del centro está conformado por siete operadores, de estos, seis son los encargados de la recolección y despacho de los pedidos, mientras que uno está encargado de la recepción y almacenaje. De los seis encargados de despacho, cuatro están destinados a recolectar y despachar los pedidos que salen por la zona de despacho, los dos restantes son asignado a atender los pedidos de mesón y taller.

3.2.2. Salidas de Repuestos

Tomando como periodo de control los movimientos de salida (ventas, reposiciones, apoyo a sucursales, internos de taller, etc.) comprendidos entre el primero de enero y el 31 de agosto del presente año, se determinan las salidas de repuestos, clasificadas por las 3 empresas presentes en la bodega, además de identificar el sector por el cual se efectúa la salida. Junto con lo anterior, se analiza la información por número de pedido, número de líneas y número de piezas movilizadas totales.

3.2.2.1. Pedidos por Sector

Aproximadamente un 60 % de los pedidos que son impresos en bodega, corresponden a salidas de repuestos por la zona de despacho, manteniendo porcentajes similares para los pedidos de taller y mesón.

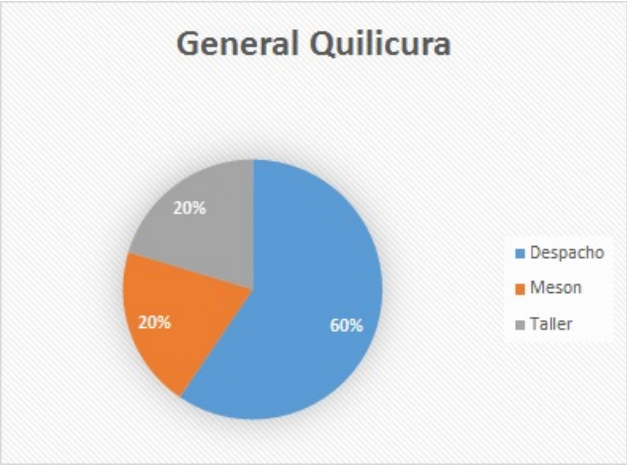

Figura 3.5: Pedidos por Sector, General Quilicura. Fuente: Elaboración Propia.

A nivel de empresa, Maco International es quien abarca la mayoría de los pedidos, las operaciones concernientes a esta empresa abarcan un 65,98 % de los pedidos totales, dejando en segundo lugar a Global Motor con un 19,35 % de los pedidos y, por último, Motor Trade ocupa el 14,67 % restante.

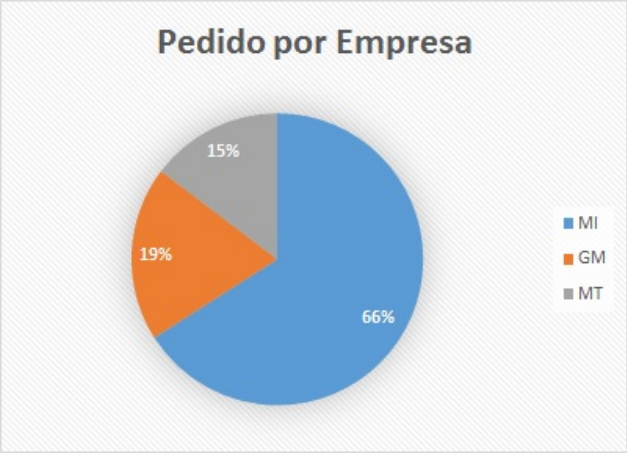

Figura 3.6: Pedidos por Empresa. Fuente: Elaboración Propia.

3.2.2.2. Líneas de Pedido por Sector

Nuevamente, es despacho quien presenta el mayor número de líneas por pedido a nivel general de la bodega, con un 60,45 % de las salidas registradas. A diferencia del apartado anterior, taller queda en segundo lugar con un 22,72 %, dejando atrás a mesón con un 16,84 %. El fenómeno se explica debido a que, por las zonas de mesón y taller, los pedidos son entregados a través de ventanillas que conectan taller y salón de ventas con la bodega, por lo que se presumen pedidos más cortos y de menor volumen.

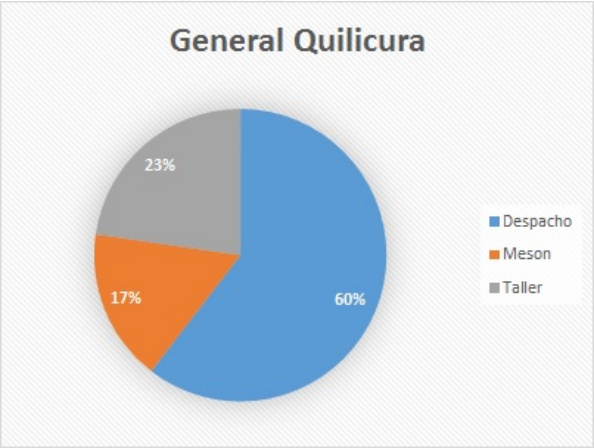

Figura 3.7: Líneas por Empresa. Fuente: Elaboración Propia.

A nivel de empresa, Maco Internacional vuelve a tomar la delantera con un 73,65 % del total de líneas por pedido, seguido por Global Motor con un 14,82 % y, finalmente, Motor Trade con un 11,54 %. Con dicha información podemos aseverar que los pedidos Maco Internacional son los más extensos al momento de recolectar.

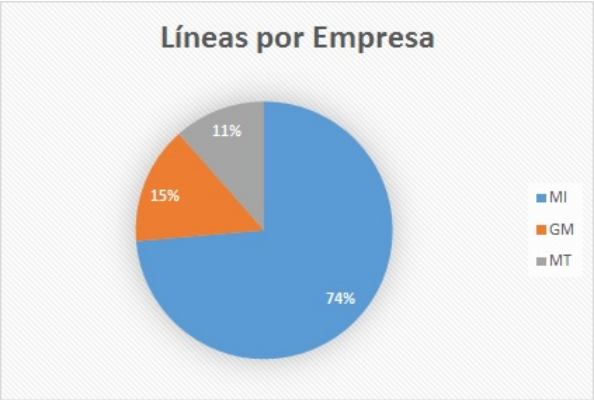

Figura 3.8: Líneas de Pedido por Empresa. Fuente: Elaboración Propia.

3.2.2.3. Número de Ítems por Sector

Finalmente, a nivel general del centro, si se habla del número de ítems que son movilizados en la bodega, la mayor salida la registra despacho, con un 63,40 %, seguido por taller con un 24,25 % y, por último, las salidas por mesón registran un 12,34 %.

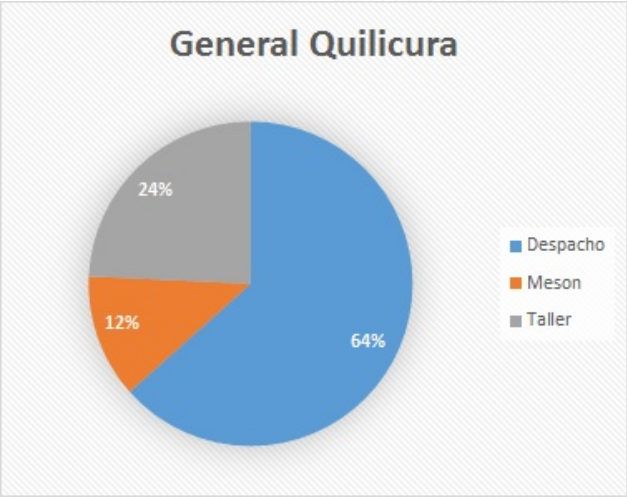

Figura 3.9: Número de Ítems por Sector, General Quilicura. Fuente: Elaboración Propia.

A nivel de empresas, los movimientos de las marcas asociadas a Maco Internacional toman vital importancia, debido a que representa un 86,54 % del total de piezas que registran movimiento, dejando a Motor Trade y Global Motor en un segundo plano, con 6,32 % y un 7,13 % del total de repuestos movilizados, respectivamente.

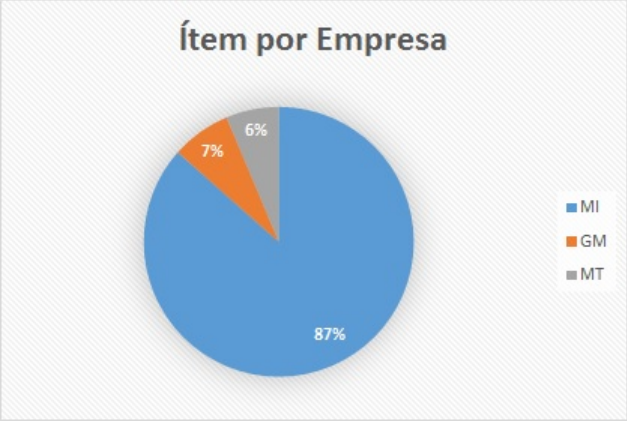

Figura 3.10: Ítems por Empresa. Fuente: Elaboración Propia.

3.2.3. Tiempos de Recolección

Este representa un factor especialmente importante, puesto que los tiempos en operaciones logísticas como el picking, packing y despacho de mercadería son los que se pretenden disminuir, con el objetivo de mejorar el lead time logístico del centro de distribución y por ende los niveles de servicio hacia los clientes. Comenzando el análisis, se exponen los resultados generales por las 3 empresas:

Tabla 3.2: Resumen de indicadores de tiempo para Maco International. Fuente: Elaboración Propia.

Maco International	Picking [min]	Despacho [min]	Ítem Mov.	N° Líneas
PROM	10,22	19,74	5	3
Picking/Pieza Mov.	2,04			
Picking/N° Líneas	3,41			

Tabla 3.3: Resumen de indicadores de tiempo para Motor Trade. Fuente: Elaboración Propia.

Motor Trade	Picking [min]	Despacho [min]	Ítem Mov.	N° Líneas
PROM	22,34	54,46	5	3
Picking/Pieza Mov.	4,47			
Picking/N° Líneas	7,45			

Tabla 3.4: Resumen de indicadores logísticos para Global Motor. Fuente: Elaboración Propia.

Global Motor	Picking [min]	Despacho [min]	Ítem Mov.	N° Líneas
PROM	45,34	54,83	4	3
Picking/Pieza Mov.	11,33			
Picking/N° Líneas	15,11			

A simple vista, es posible apreciar que los tiempos medio de picking y despacho de las existencias más bajos, son los correspondientes a los tiempos de Maco International, este fenómeno se puede explicar por el formato en el cual se presentan las piezas en la bodega, su correcto empaquetado en cajas de cartón, además de una clara rotulación impresa, facilita en gran medida al bodeguero su identificación y recolección al momento de realizar el proceso de picking. Resulta de vital importancia que los productos de esta firma presenten mayor eficiencia en su disposición y tiempos porque, recordando la sección a anterior, Maco Internacional representa los mayores volúmenes de existencias movilizadas.

Analizando las dos empresas restantes, salta a la vista que los tiempos de picking medio por pieza y línea son, en promedio, hasta un 81,97 % superior respecto a Maco International. Aunque los volúmenes movilizados por estas dos empresas son considerablemente menores dentro de la bodega, sus elevados tiempos son debido a su ineficiente y escaso formato de embalaje y una rotulación inadecuada donde, en algunos casos, es imposible diferenciar los códigos de productos escritos a mano. Esto genera problemas más allá al nivel de tiempos operativos, sino también un aumento en *No Conformidades* correspondiente al despacho de piezas equivocados por confusión de códigos o productos en mal estado producto de su escaso o nulo empaquetamiento de fábrica (para ver el detalle de los tiempos de logísticos por sector ver anexo A Figura A.3, Figura A.4 y Figura A.5).

3.2.4. Operación por Dotación

Para finalizar el diagnóstico actual del centro de distribución Quilicura, se presentan los resultados generales de las tres empresas obtenidos para los distintos sectores de la bodega y por operarios, diferenciados por las variables logísticas ya mencionadas en los puntos anteriores.

Tabla 3.5: Resumen general de operación actual en bodega por sector. Fuente: Elaboración Propia.

Por Sector	Despacho	Mesón	Taller
Pedidos x día	124	75	26
Ítem x día	635	362	411
Líneas x día	286	166	121
Ítem x pedido	6	5	17
Líneas x pedido	3	3	5
Ítem x líneas	2	2	4

Tabla 3.6: Resumen general de operación actual en bodega por operario. Fuente: Elaboración Propia.

Por Operario	Despacho	Mesón - Taller	Ponderado
Pedidos x día	31	51	41
Ítem x día	159	387	273
Líneas x día	72	144	108

Como se había confirmado en los puntos anteriores, las operaciones en el sector de despacho son aproximadamente un 50 % superior que la suma de Taller y ventas por Mesón. Es por esta razón que presenta la mayor dotación asignada con 4 bodegueros. Con respecto a taller y mesón, son asignados 2 bodegueros para ambas secciones. Se puede observar que los operarios en la categoría Mesón – Taller presenta, en suma, un nivel mayor en todos los campos, sin embargo, se debe aclarar que las existencias que salen por estos sectores son de bajo volumen, por lo que es presumible mayor cantidad de piezas las que rotan.

Para revisar el desempeño por operarios, es preferible ponderar los resultados grupales para así obtener un resultado lineal por operario, y ser estos resultados los que se busquen optimizar con los planes que se presentaran más adelante.

3.2.5. Análisis ABC

Se hace necesario conocer cuáles son los repuestos que tienen mayores niveles de salida y, a su vez, con cuanta frecuencia son solicitados por los clientes. Es por este motivo que se realiza un análisis ABC considerando los ítems demandados y el número de líneas por pedido que solicita dicho repuesto, para ambos casos, se considera el promedio de los últimos 8 meses (comprendidos entre enero y agosto del presente año).

Figura 3.11: Gráfico ABC por Ítem. Fuente: Elaboración Propia.

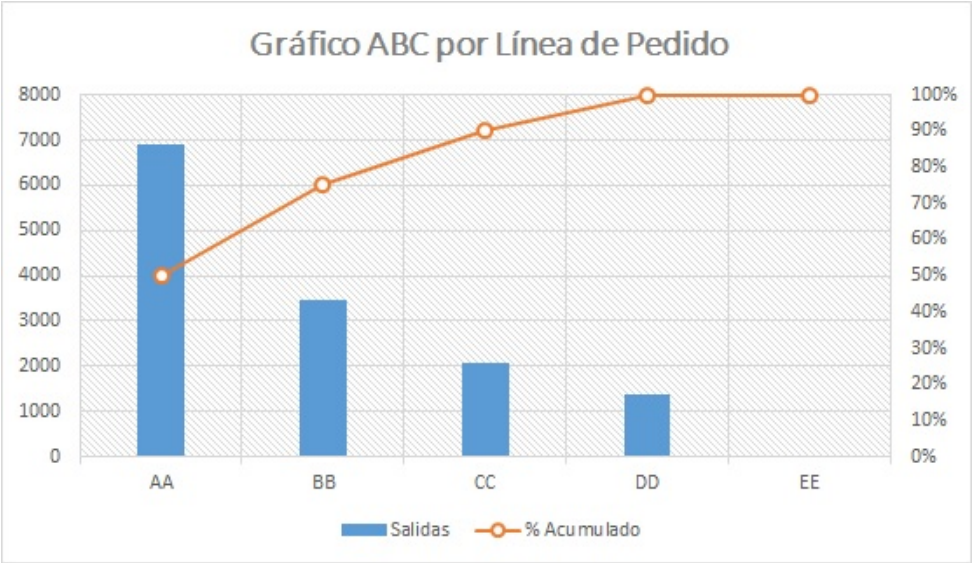

Figura 3.12: Gráfico ABC por Línea. Fuente: Elaboración Propia.

Hablando de los niveles de demanda promedio de repuestos, un 0,42 % del total de repuestos conforman el 50 % del total de las salidas de la bodega, por parte de la frecuencia de salida, el 1,95 % de los repuestos representa el 50 % de las salidas, para ambos casos, los filtros, de diversos tipos, son la familia de repuestos con mayor rotación.

En contraparte, un promedio del 64,72 % de los repuestos, no presentan movimientos en los últimos 8 meses, lo cual se traducen en un aproximado de 20775 repuestos sin vender (ver Tabla A.4 y Tabla A.5).

Cruzando la información de ambos análisis ABC, se obtiene que un 2,91 % del total de repuestos de la bodega, correspondientes a 700 piezas, coinciden en tener una alta clasificación (*"AA"* y *"BB"*), lo que implica que son, en promedio, mensualmente demandados en mayor número de ocasiones, además de salir de la bodega en un alto volumen individual (alta frecuencia de recolección).

3.3. Definición de la Problemática

Son diversos los problemas que presenta el centro de distribución, estos tienen incidencias directas en las operaciones logísticas (recolección, recepción, almacenamiento, embalaje, etc.). algunos de estos problemas se enumeran a continuación:

1. **Deficiente almacenaje inicial:** con la llegada de nuevas marcas y el traslado de la bodega Maco International (Av. Lo Sierra 02360, San Bernardo) a inicio de año, se necesitó hacer un reordenamiento de las existencias, esta se realizó con una empresa externa de outsourcing. El problema es que dicha recepción y almacenaje no se realizó con un plan estratégico adecuado, quedando las decisiones a criterio personal de cada operario que, al ser externo, no contaban con el conocimiento adecuado para ubicar de manera eficiente los repuestos. Lo anterior se traduce en ubicaciones mal utilizadas, dejando estanterías vacías y otra sobrecargadas, repuestos de alto peso en zonas elevadas y ubicaciones de gran volumen, con ítems de baja envergadura.

Figura 3.13: Ubicaciones mal aprovechadas. Fuente: Elaboración Propia.

2. **Desorden General:** en las ubicaciones, los repuestos no están bien almacenados, vale decir, no están ordenados con el fin de optimizar el espacio de la ubicación y su identificación al momento de recolectar. En algunos casos, sobre todo en productos de marcas chinas, las piezas están sueltas y dispersas por numerosas ubicaciones.

Figura 3.14: Desorden en el Almacenamiento. Fuente: Elaboración Propia.

3. **Sistema de Información deficiente:** debido a malas prácticas de los operarios del centro, el sistema de información, Cars, no refleja, completamente, la realidad en la bodega, esto es, las ubicaciones que entrega sobre las existencias no son siempre las correctas, posee desbalances entre los inventarios físicos y virtuales, además, su potencialidad no es utilizada, puesto que, para repuestos de más de una ubicación, no están priorizadas por ningún orden, entre otras taras de manejo y funcionalidad (reportes deficientes en lo logístico, observaciones de pedido mal utilizadas, etc.).

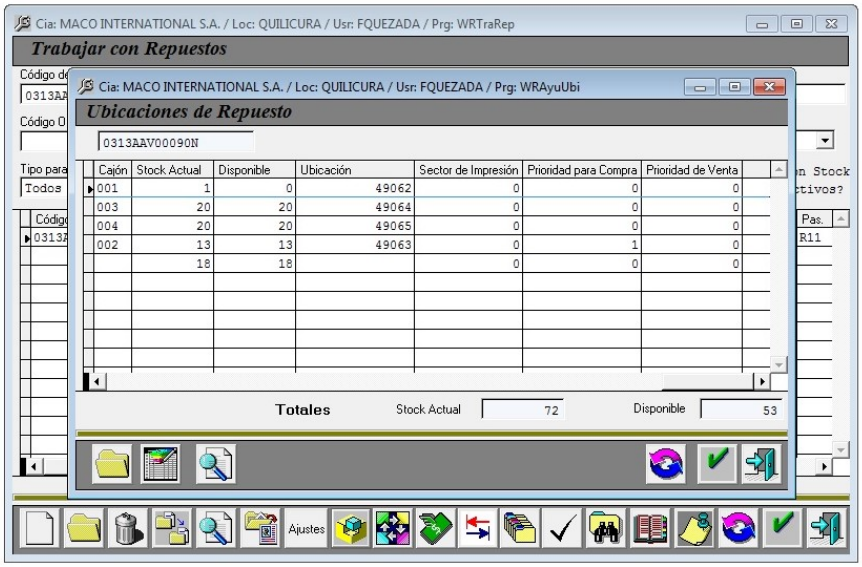

Figura 3.15: Repuesto con más de una ubicación sin priorización. Fuente: Elaboración Propia.

4. **Altos Tiempos de Recolección:** en general, los repuestos provenientes de marcas chinas tienen graves problemas en lo que respecta a su embalaje de fábrica, algunos de ellos solo vienen en bolsas plásticas de mala calidad y otros, además de lo anterior, no presentan código identificador legible. Esto, sumado a los problemas anteriormente mencionados, eleva los tiempos promedios de recolección y despacho de los pedidos.

Figura 3.16: Repuestos a granel y sin etiquetar. Fuente: Elaboración Propia.

5. **Deficientes Policitas de Almacenamiento:** como se mencionó anteriormente, el hecho de que el sistema de información no este enfocado a operaciones logísticas dentro del centro de distribución, a conllevado a la adopción de políticas de almacenamiento que entorpecen más la operación, en vez de agilizarla. Por nombrar las más significativas, no es posible distribuir los repuestos de una empresa particular (bajo ningún criterio) en racks de empresas diferentes, además, la distribución de racks por empresa no se realizó bajo algún parámetro, por lo que los repuestos de más alta rotación (correspondiente a la empresa International), están ubicados en puestos aleatorios, sumamente alejados de los punto de salida correspondientes a mesón y taller (recordar al lector que la combinación de estas zonas corresponden a un aproximado del 40 % de las operaciones de salida).

4 | Metodología

4.1. Formulación del Modelo Matemático

La literatura moderna sobre problemas de localización – asignación, están enfocados a la gestión de almacenes, los modelos dirigen su atención a lograr una reducción de costos monetarios de las operaciones, de representar bodegas de una sola entrada y salida, además de suponer zonas especializadas en almacenamiento transitorio y de recolección, entre otros factores clave. Dichos modelos no pueden ser aplicados de manera explícita, puesto que lo que se busca es una reducción en los tiempos de recolección, y por políticas internas y limitantes técnicas (elaboración de algoritmos computacionales específicos) quedan fuera del alcance del presente trabajo de memoria.

Es por esto que el problema de localización – asignación se divide, resolviendo primero la pregunta ¿Dónde se ubica el rack a utilizar?, para posteriormente pasar a resolver el problema de ¿En cuál/es ubicación/es almacenar las existencias?

4.1.1. Selección de la Muestra

Para el presente trabajo de memoria, por acuerdo con Gerencia de Repuestos, se selecciona como muestra de repuestos los primeros 50 productos más demandados y que en mayor cantidad salen de la bodega, según un análisis ABC. Esto representa el 0,156 % del total de repuestos inventariados en el centro, y el 0,447 % del total de piezas que registran algún movimiento en el periodo de control, comprendido entre enero y agosto del presente año.

Aunque se puede pensar que 50 repuestos representan una muestra pequeña, en contraste con los 11174 repuestos que registran movimiento en el periodo anteriormente mencionado, esta muestra representa un aproximado del 19,671 % del total acumulado promedio de salidas totales del centro de distribución.

4.1.2. Método del Centro de Gravedad

Primero debemos conocer cuál es el rack a utilizar. Gerencia de Repuestos permitió la modificación de un máximo de dos racks para la reasignación de los repuestos, como la muestra solo está conformada por repuestos de la marca Maco International, se respeta la política de no mezclar empresas en las ubicaciones. Como el sistema de información no selecciona la ubicación más cercana a la salida que solicita algún repuesto, sino que se rige por una priorización manual arbitraria (que en ocasiones no está ni siquiera definida), la solución no está en repartir los repuestos en racks alejados, sino que elegir el que está a una distancia "optima" de todas las salidas. Por lo anterior, es fundamental encontrar un rack que minimice las distancias recorridas por los operarios, en base a las muestras de repuestos, sus volúmenes y costo de transporte (representado por lo tiempos de picking).

A continuación, se describe una serie de pasos que, con ayuda de las ecuaciones (2.1), (2.2) y (2.3), será posible encontrar el punto óptimo donde ubicar las existencias.

Paso 1. **Determinar coordenadas** $(x; y)$**, volúmenes y costos de todos los puntos de la red:** se parametriza el plano del centro de distribución, identificando la posición de las existencias en el plano coordenado, además de los puntos de salida del centro (zona despacho, mesón y taller). El volumen asociado a cada punto será igual al volumen de la caja que lo contiene, multiplicada por el número de cajas diarias que se necesitan para responder a la demanda promedio mensual. Para calcular el volumen de los puntos de salida, se definen previamente categorías según sea el punto que más demande algún ítem particular. Mediante un ajuste al análisis ABC, se identifican dichas zonas, creando la siguiente clasificación:

Tabla 4.1: Clasificación según nivel de salida por sector. Fuente: Elaboración Propia.

Categoría	Clasificación (Despacho / Mesón / Taller)	Descripción
1	AA / XX / XX	Preferencia Despacho
2	XX / AA / XX	Preferencia Mesón
3	XX / XX / AA	Preferencia Taller
4	AA / AA / XX	Despacho - Mesón
5	AA / XX / AA	Despacho - Taller
6	XX / AA / AA	Mesón - Taller
7	AA / AA / AA	Neutra

Con la clasificación lista, se define el volumen de los puntos de salida como la sumatoria ponderada de los volúmenes de salida de los ítems individuales, correspondiente a su clasificación, por ejemplo, si un ítem es de categoría 4, el volumen para despacho (y mesón) sería un medio del total, y así sucesivamente para la muestra. Por último, para el costo de transporte, para los ítems individuales, se considera como el ponderado entre los tiempos de picking (en función de la categoría) por la cantidad demandada diaria y un factor lineal en función del nivel al que se encuentre dicho ítem en el rack, dividido en el volumen total desplazado de la pieza. Para el costo de los puntos de salida, se considera como constante e igual a 1000 $[\frac{min}{m^3 m}]$. Los datos recopilados del modelo se encuentran en las tablas (B.1) y (B.2).

Paso 2. **Calcular centro de gravedad sin distancia d_i:** se calcula la primera aproximación al centro de gravedad. Omitiendo inicialmente la distancia d_i de la ecuación (2.3), se obtiene la siguiente expresión:

$$\bar{X} = \frac{\sum_i V_i R_i X_i}{\sum_i V_i R_i} \qquad \bar{Y} = \frac{\sum_i V_i R_i Y_i}{\sum_i V_i R_i} \tag{4.1}$$

Donde el numerador corresponde a la sumatoria del producto entre el volumen, el costo de transporte y la ubicación de cada punto i, mientras que el denominador es la sumatoria de la ponderación entre el volumen y costo.

Obteniendo, con los valores de Tabla B.3 y Tabla B.4, el siguiente par ordenado inicial:

$$\bar{X} = 18,264 \quad \bar{Y} = 15,044 \tag{4.2}$$

Paso 3. **Calcular distancia d_i:** con las coordenadas iniciales del centro de gravedad, obtenidas con la ecuación (4.1), se calculan las distancias d_i al rack a utilizar mediante la ecuación (2.2). En este caso, se evalúa a k como 1, puesto que el plano ya se encuentra parametrizado.

Paso 4. **Recalcular las coordenadas del centro de gravedad:** utilizando los resultados obtenidos en el paso anterior, se integra la variable distancia, d_i, a la ecuación (4.1), obteniendo la expresión original del modelo:

$$\bar{X} = \frac{\sum_i V_i R_i X_i / d_i}{\sum_i V_i R_i / d_i} \quad \bar{Y} = \frac{\sum_i V_i R_i Y_i / d_i}{\sum_i V_i R_i / di} \tag{4.3}$$

Obteniendo, con los valores de las Tabla B.5 y Tabla B.6, el siguiente par ordenado:

$$\bar{X} = 16,981 \quad \bar{Y} = 15,484 \tag{4.4}$$

Paso 5. **Calcular el costo total del transporte (medido en unidades de tiempo de picking):** con los datos obtenidos en los pasos anteriores, se evalúa la ecuación de costos de transporte (2.1).

$$CT = \sum_i d_i R_i V_i \tag{4.5}$$

Obteniendo, como primer resultado, el siguiente costo de transporte:

$$CT = 129124,179 \quad [min] \tag{4.6}$$

Es importante destacar que el resultado obtenido con la ecuación (2.1), es un valor cualitativo para este estudio, vale decir, la magnitud del resultado no tiene una interpretación directa para encontrar el centro de gravedad, sino más bien nos sirve como parámetro de comparación.

Paso 6. **Repetir pasos 3, 4 y 5 hasta que el costo de transporte no presente una disminución significativa:** la mejor opción para encontrar las coordenadas del centro de gravedad es ir iterando los resultados obtenidos en el paso 3, recalcular la distancia según el par ordenado encontrado en el paso anterior y repetir los pasos 4 y 5. El proceso se repite hasta que no existan cambios significativos en las coordenadas ni los costos de transporte. A continuación, se presenta una tabla con 18 iteraciones, siendo esta ultima la elegida como centro de gravedad.

Tabla 4.2: Coordenadas del centro de gravedad por iteración. Fuente: Elaboración Propia.

Paso	$\bar{X}$	$\bar{Y}$	CT
Iteración 1	16,981	15,484	129124,179
Iteración 2	16,290	15,341	128334,430
Iteración 3	15,841	15,150	128070,176
Iteración 4	15,713	14,451	57414,562
Iteración 5	15,471	14,160	57315,069
Iteración 6	15,266	14,001	57282,382
Iteración 7	15,115	13,900	57266,388
Iteración 8	15,008	13,831	57258,414
Iteración 9	14,936	13,783	57254,529
Iteración 10	14,886	13,749	57252,667
Iteración 11	14,852	13,726	57251,782
Iteración 12	14,829	13,710	57251,363
Iteración 13	14,813	13,698	57251,164
Iteración 14	14,802	13,690	57251,071
Iteración 15	14,795	13,685	57251,026
Iteración 16	14,790	13,681	57251,006
Iteración 17	14,786	13,679	57250,996
Iteración 18	14,784	13,677	57250,991

Como es posible apreciar en la Tabla 4.2, en la iteración 18 los valores de las coordenadas para el centro de gravedad y los costos de transportes no muestran cambios significativos, por lo que el proceso se detiene en este punto.

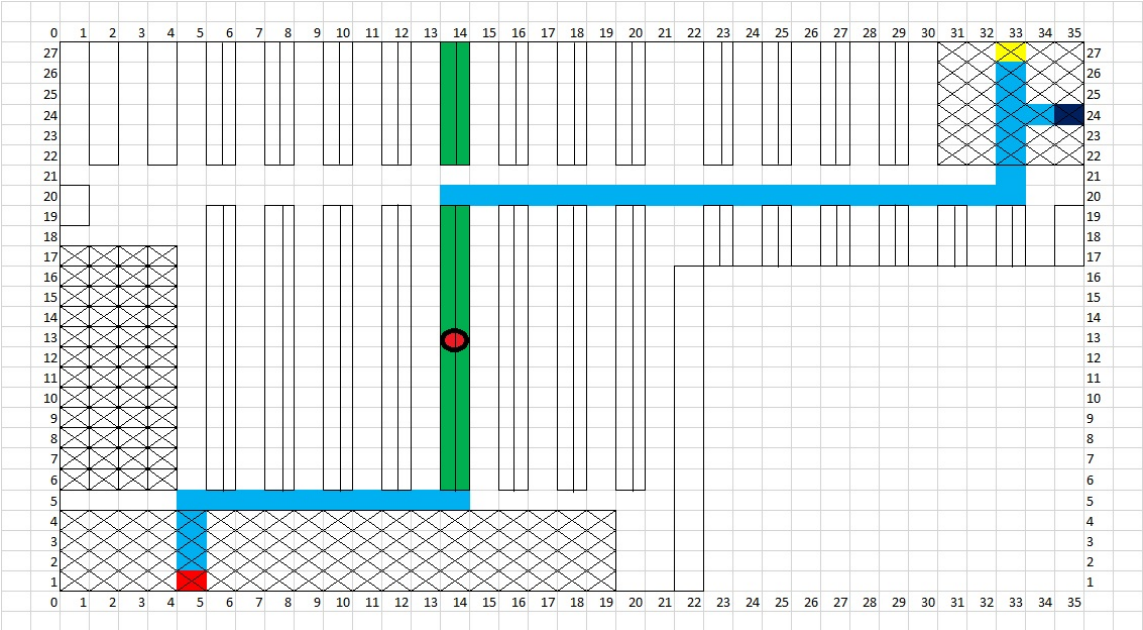

Figura 4.1: Plano cartesiano de bodega Quilicura (escala 1:200). Fuente: Elaboración Propia.

Por último, se localizan las coordenadas encontradas en el plano cartesiano del centro de distribución. Como se aprecia en la Figura 4.1, el punto se encuentra, aproximadamente, en la mitad del rack número 13 y 14, siendo estos los mejores candidatos para la reasignación de las existencias con mayor rotación, que disminuya los tiempos de recolección y despacho de repuestos.

4.2. Modelo de Programación Entera Mixta

Como en la sección anterior se encontraron los dos racks candidatos que optimizan los costos de transporte (medidas en tiempo) para cada una de las salidas. El paso siguiente es definir cómo reorganizar las existencias, con el objetivo de minimizar los tiempos de picking y despacho. Lo que se busca, en detalle, es optimizar las operaciones logísticas en el centro, reducir tiempo de recolección y despacho y aumentar el número de pedidos, líneas e ítems por operario. Sería lógico para el lector pensar que los repuestos que presentan mayor rotación, se encuentran a mano para picking directo, sin embargo esa no es la realidad, solo un aproximado del 33 % de los 50 ítems más populares se encuentran a la mano.

Como ya se respondió la pregunta de qué rack utilizar, ahora compete responder al segundo cuestionamiento, ¿En qué ubicación almacenar las existencias en dichos racks? Pues bien, para resolver esta interrogante, se plantea un modelo de programación entera mixta. Para exponer el modelo completo, se definirán los conjuntos, parámetros, restricciones y, finalmente, la función objetivo.

4.2.1. Conjuntos

El conjunto de las ubicaciones toma todas las casillas habilitadas de los racks 13 (Figura C.1) y 14 (Figura C.2), mientras que el conjunto de ítems corresponde a la muestra a ser reasignada dentro del centro, esta muestra no puede exceder los 70 códigos individuales, por previo acuerdo con Gerencia de Repuestos. Como modelo base, se considerará el rack 13 como el destinado a reordenar y una muestra de 50 códigos.

- R: Conjunto total de ubicaciones posibles de ítems, con $i \in R$ donde $i = 1; ...; n$.
- N: Conjunto total de ítems destinados a almacenar, con $j \in N$ donde $j = 1; ...; m$

4.2.2. Parámetros

- T_i: Tiempo de picking del producto asociado a la ubicación i $[min]$
- Fg_i: Peso máximo permitido en la ubicación i $[kg]$.
- V_i: Máximo volumen permitido en la ubicación i $[m^3]$.
- Alm_j: Cantidad mínima de j requerida a ser almacenada $[u]$.
- Vol_j: Volumen del producto j $[m^3]$.
- P_j: Peso del ítem j $[kg]$.
- M: Constante de activación para variable binaria.

Para revisar el detalle de los valores asociados a los parámetros del modelo base, ir a anexo C (Tabla C.3 y Tabla C.4).

4.2.3. Variables

- X_{ij}: Unidades a almacenar en ubicación i, del producto j $[u]$.

- $$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{Si el producto j se almacena en la ubicación i} \\ 0 & \text{Caso contrario} \end{cases}$$

4.2.4. Restricciones

- **Máxima cantidad permitida por ubicación:**

$$\sum_{j=1}^{m} X_{ij} Vol_j \leq V_i \quad \forall i \in R \tag{4.7}$$

Las ubicaciones individuales tienen un volumen dado, el modelo debe ser capaz de asignar productos (con un volumen individual asociado), en la cantidad que no exceda a la capacidad máxima de almacenaje de la misma.

- **Cantidad mínima requerida de j a ser almacenada en las ubicaciones:**

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{X_{ij}}{Alm_j} \geq 1 \quad \forall j \in N \tag{4.8}$$

Para lograr que exista un abastecimiento mínimo en las zonas de picking directo, la cantidad a almacenar en dichas ubicaciones no puede ser menor a la cantidad promedio demandada de un producto dado, vale decir, la sumatoria del cociente entre la cantidad a almacenar con la demanda mensual media, no puede ser menor a 1. Eventualmente, en el caso de que la demanda promedio mensual fuese mayor que el stock actual, el valor del parámetro Alm_j, pasa a ser el stock por sistema.

- **Las ubicaciones no pueden albergar más de 3 repuestos de distinto código:**

$$\sum_{j=1}^{m} Y_{ij} \leq 3 \quad \forall i \in R \tag{4.9}$$

Como se ha mencionado anteriormente, el desorden físico de las existencias en las ubicaciones es uno de los principales problemas a la hora de recolectar los pedidos, aumentando los tiempos de picking y los costos asociados al uso ineficiente (más bien torpe) de la escasa maquinaria actual, puesto que es tedioso encontrar los repuestos en un regadero de piezas, algunas incluso sin etiquetar, aumentando los tiempos logísticos. Para reducir este problema, las casillas podrán albergar un máximo de 3 piezas de distinto código.

- **Los repuestos no pueden tener más de 5 ubicaciones distintas:**

$$\sum_{i=1}^{n} Y_{ij} \leq 5 \quad \forall j \in N \tag{4.10}$$

El sistema de información actual (Cars) permite la priorización de ventas y compras para un máximo de 5 ubicaciones. Por lo cual la presente restricción hace que los productos no puedan ser almacenados en más de 5 casillas diferentes.

- **La suma de los pesos de las existencias no puede superar el peso máximo permitido en la ubicación:**

$$\sum_{j=1}^{m} X_{ij} P_j \leq Fg_i \quad \forall i \in R \tag{4.11}$$

Similar a la ecuación (4.7), la suma de los pesos individuales de las existencias en una casilla no puede superar al máximo permitido, estipulado por el fabricante.

- **Activación de Variable binaria:**

$$X_{ij} \leq MY_{ij} \quad \forall i \in R \quad \forall j \in N \tag{4.12}$$

Esta restricción permite relacionar la variable entera con la binaria, al momento de que almacena un número superior a 0 de piezas en alguna casilla, esta queda habilitada, ponderando la unidad por una constante lo suficientemente grande (con $M = 100000$).

- **Naturaleza de las Variables:**

$$X_{ij} \in \mathbb{Z}_0^+ \qquad Y_{ij} \in \{0; 1\} \tag{4.13}$$

4.2.5. Función Objetivo

- **Minimización de los tiempos de picking asociados a la recolección según la ubicación del repuesto.**

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} Y_{ij} T_i \tag{4.14}$$

La función objetivo planteada en la ecuación (4.14), consiste en minimizar la suma de las casillas activas, multiplicadas por sus tiempos de picking. Al igual que para el modelo de localización del centro de gravedad (Ecuación 4.5), el valor de la función objetivo no tiene una interpretación directa, sino más bien tiene la intención de forzar al modelo a localizar la mayor cantidad de piezas en zonas de recolección directa (tiempos de picking más bajos), dejando las posiciones más elevadas como abastecedoras de stock, además de utilizar de manera eficiente las ubicaciones que tienen mayor capacidad para almacenar por sobre la idea de repartir piezas en un mayor número de posiciones pequeñas.

5 | Resultados

5.1. Desarrollo de procedimiento basado en computadora

Para encontrar la solución al modelo de programación entera mixto planteado, se contempla la utilización de algún algoritmo en un software de computadora que utilice el lenguaje algebraico para cargar los datos. El mecanismo de resolución propio del algoritmo candidato influye de manera directa en el tiempo que tarda en encontrar una solución óptima. La herramienta computacional elegida para resolver el problema de asignación de existencias en las estanterías para el centro de distribución de Maco S.A., es el programa AMPL (A Mathematical Programming Language). Se elige esta plataforma por su amplia capacidad para procesar datos, sin embargo, se complementa al software con el solver CPLEX, que amplía su capacidad de procesamiento de datos a más de 15000 variables, necesarias por el tamaño del modelo propuesto.

Debido a que los problemas de programación entera mixta son bastante complejos de solucionar, se da un límite de tiempo de 18000 segundos para el proceso de solución, o bien, que el resultado obtenido en alguna iteración, tenga una diferencia porcentual respecto al óptimo, de un 0,00001 %.

5.2. Pruebas y mejoramiento del modelo

Por el gran número de variables, es complicado realizar numerosas pruebas para validar el modelo, sin embargo, se realizan 3 pruebas distintas con el fin de obtener el mejor resultado que logre reducir los tiempos de picking.

Para la primera prueba, se pretende obtener los efectos de tener un rack adicional para repuestos de la marca International, ocupando el rack 14 (destinado a la empresa Motor Trade) para almacenar los 50 repuestos que más rotan. Se modifica el conjunto de ubicaciones, además de los parámetros de capacidad de almacenaje y peso máximo para dichas casillas.

En el anexo C se exponen un esquema del rack 14 (Figura C.2), las tablas con las nuevos parámetros (Tabla C.6 y Tabla C.7) y los resultados de las nuevas ubicaciones (Tabla C.8 y Tabla C.9).

Figura 5.1: Parabrisas en racks 14 y 15. Fuente: Elaboración Propia.

El problema central para este modelo (que entrega un valor de función objetivo del orden 161,2 [*min*]), es que implica encontrar nuevas ubicaciones en los racks asignados a Motor Trade para trasladar la mercadería movilizada en el reorden. Como esta empresa y Global Motor no representan la mayoría del volumen de ventas en su conjunto, su espacio destinado dentro del centro de distribución es más limitado que para International, lo que dificulta aún más encontrar espacios. Además de lo anterior, se suma el hecho de que el

desorden imperante en el centro impide aprovechar de manera óptima los pocos espacios disponibles. Por último, como se puede apreciar en la Figura 5.1, los parabrisas ubicados en el primer nivel del rack 14, utiliza también el primer nivel del rack 15. Reubicar los parabrisas, por su tamaño y su disposición necesaria en los racks, es prácticamente imposible por temas de espacio, esto tiene como efecto directo que el primer nivel de los racks no pueda ser utilizado, perdiendo un aproximado de 62,298 [m^3], no dejando espacio para que los productos de alta rotación queden en zonas de picking directo.

Para la segunda prueba, se descarta el uso del rack 14 (a pesar de que se encuentra más cerca de las salidas por mesón y taller) y se utiliza el rack 13 (rack ideal entregado por el modelo del centro de gravedad). Los valores de los parámetros son los mismos que el modelo base, sin embargo, se agregan 4 nuevos SKU's a la muestra (Tabla C.10), con el fin de elevar los niveles de servicio y lead time operativos.

Los valores de los parámetros adicionales y los resultados para el modelo se exponen en el anexo C (Tabla C.11, Tabla C.12 y Tabla C.13). Como es de esperar, el valor de la función objetivo aumenta a 204,684 [*min*], sin embargo, agregar 4 SKU más a la muestra da la oportunidad de que los tiempos logísticos de recolección y despacho disminuyan mucho más en la operación diaria. Evaluando esta alternativa, nos encontramos con el inconveniente de tener que habilitar 42 locaciones para las existencias, de las cuales 4 están a niveles de recolección elevados, aunque estas están presupuestadas como "pulmones" para abastecer a las ubicaciones inferiores de los ítems más populares, los 4 SKU adicionales no entregan mayor valor al modelo, puesto que son pocas las unidades a almacenar, no justificando la habilitación de ubicaciones adicionales (2 más que el modelo base).

Para la tercera prueba se utiliza la categorización presentada en el modelo del centro de gravedad, se le recuerda al lector que el centro de distribución posee tres salidas de productos, pudiendo identificar la preferencia de salida para cada ítem (Tabla 4.1). Se utiliza esta categorización a modo de "heurística" para sacar el máximo provecho al sistema de información.

Como primer paso, identificamos los productos con su categorización asignada según un análisis ABC por sector (Tabla C.14 y Tabla C.15), luego, obtenemos la solución del Modelo Base (modelo del cual se define como una solución de slotting estratégico). El programa entrega los resultados en un tiempo de 18000 segundos (límite), analizando 4074234 nodos branch and bound, con una diferencia porcentual, respecto al valor optimo, de un 0,091 %. Los resultados finales del modelo se presentan en el anexo C, Tabla C.16 y Tabla C.17.

Con las ubicaciones definidas para los 50 SKU que más salen y en mayor volumen unitario de la bodega, el paso siguiente es definir un sistema de priorización en el sistema de información para que su proceso de picking lleve el menor tiempo posible.

El sistema permite priorizar las ubicaciones a la que los bodegueros deben ir a retirar la mercadería según el pedido. A medida que las ubicaciones se quedan sin stock, el sistema los envía a la siguiente ubicación. Esta priorización va de manera ascendente, partiendo del 0 como primera prioridad. El mismo proceso se utiliza con las compras para abastecimiento, el sistema permite, bajo el mismo criterio descrito, definir en qué ubicaciones almacenar la mercadería primero, hasta completar el espacio, para seguir con las siguientes.

En este punto aplicamos el criterio de las categorías; previa a la aplicación física de los resultados del modelo, se crea una plantilla Excel donde se da la priorización necesaria para “ventas” (recolección) y “compras” (almacenamiento), compatibles con el sistema de información para poder exportar, de manera masiva, las nuevas ubicaciones con sus prioridades asociadas. Se da primera prioridad (cuando se tiene más de una ubicación) a la ubicación más cerca a la salida donde más presenta demanda, según la categoría para dicho producto. Para ver en detalle las asiganciones, ver Tabla C.18 y Tabla C.19 en anexo C.

5.3. Preparación para la aplicación del modelo

Para la correcta implementación de los resultados obtenidos en la subsección anterior, primero se crea un protocolo de conducta que deben seguir los operarios del centro de distribución. Este manual especifica las acciones que están permitidas y cuáles no en las operaciones diarias de picking. El objetivo es eliminar las malas prácticas dentro de la bodega, estas son evitar sacar existencias de las ubicaciones sin antes registrar el movimiento en el sistema de información, mantener el orden de las ubicaciones en las labores de recolección, respetar el orden de la priorización en los procesos de despacho y almacenamiento y mantener consolidada la información entre el stock físico y virtual.

En la aplicación del protocolo, se realizan 3 capacitaciones al inicio de la jornada (entre 8:00 y 8:30 am) en la última semana de octubre. Se explican las reglas a seguir y de designa al jefe de bodega, don Moisés Reyes, como responsable de la ejecución correcta y oportuna; en el centro queda una copia del protocolo en un sector visible para todos lo operarios.

5.4. Implementación

Para la ejecución del proceso de reordenamiento estratégico de las existencias, se gestiona la dotación y los tiempos necesarios para llevar a cabo las tareas de traslado de los ítems que originalmente utilizaban las ubicaciones entregadas por el modelo, asignación de nuevas localizaciones a las unidades trasladadas, registrar el movimiento en el sistema de información, recolectar las existencias pertenecientes a la muestra y reubicarlas en las ubicaciones (con su respetivo stock) según dicta el resultado del modelo de slotting.

Para las primeras tareas a ejecutar (retirar piezas originales, dar nueva ubicación y registrar el movimiento en el ERP) se asignan 3 operarios y un ingeniero memorista para el día jueves y sábado de la primera semana de noviembre del presente año. Lo anterior en el horario comprendido entre 18:00 y 20:00 horas para el jueves y de 11:00 a 14:00 horas para el día sábado. A los operarios asignados se le cancelarán las horas extras prorrateadas

en dos horas por día. Para la tarea de recolección de la muestra y reubicación en las casillas nuevas, se asigna un operario más un ingeniero memorista para la tarde del lunes 7 de noviembre del presente año, desde las 16:00 horas hasta las 6:00 de la mañana del día siguiente, en un turno continuo de 14 horas. Por la carga de trabajo extra, se gestiona un día libre para el operario (martes 8 de noviembre) con pago completo incluido, además de las horas extras (12 en total) prorrateadas en dos horas por día. Cabe destacar que previo al movimiento físico de las existencias, se cargan masivamente las nuevas ubicación en el sistema de información (Tabla C.18 y Tabla C.19), posteriormente, a medida de que se completan las casillas con las nuevas existencias, se realiza el traslado virtual del stock de la posición original a la nueva cargada, eliminado la ubicación original.

A todo lo anteriormente escrito, se entiende que el orden propuesto es importante para la reducción de tiempos logísticos, sin embargo, no es suficiente por si sola. También es de suma importancia atacar el desorden imperante en los racks y estanterías. La manera de enfrentar este problema es, en primer lugar, demostrar la importancia del orden visual de las existencias a las jefaturas responsables, y la segunda, calcular la dotación necesaria para llevar a cabo dicha labor.

En el cálculo de la dotación necesaria, se toma el total de líneas de la bodega a la fecha. Como ya se conoce el rendimiento de líneas por operario al día, se establece un horizonte de planificación de 3 meses y, mediante la siguiente formula, se obtiene la dotación:

$$Dotacion\ Necesaria = \frac{Lineas\ Total\ C.D.}{Lineas\ x\ Operario\ *\ Dias} \tag{5.1}$$

De la Tabla 3.6, sabemos que el rendimiento de los operarios es de 108 [$\frac{Lineas}{Dia}$]. Las líneas totales del centro ascienden a 26741 y el horizonte temporal para el proceso de orden es de 63 días laborales. Por lo tanto, los operarios necesarios son:

$$Dotacion\ Necesaria = \frac{26741}{108\ *\ 63} \approx 4 \tag{5.2}$$

Se le expone el proceso propuesto de orden a la jefatura, el cual consiste en ordenar de

manera visual los racks y las estanterías con el fin de facilitar los procesos de recolección, y búsqueda de ítems perdidos, además de aprovechar de mejor manera los pocos espacios disponibles.

En una reunión, el día 7 de noviembre del presente año, jefatura evalúa y aprueba el proceso de orden, sin embargo, ya tenía contemplada la contratación de 2 operarios externos para apoyar las labores de picking y recepción, por lo que solo aprueban el ingreso de solo 2 operarios para el nuevo proceso. Los 4 nuevos operarios arriban al centro de distribución el día lunes 14 de noviembre.

5.5. Efectos y Evaluación Económica

Para medir los efectos del ordenamiento estratégico de las existencias, además del proceso de orden, se realiza la misma evaluación y análisis para el diagnóstico inicial. Se toma como periodo de evaluación el comprendido entre la fecha de ejecución del modelo de slotting (martes 8 de noviembre), hasta el día jueves 1 de diciembre. Dicho día se descargan del sistema información los reportes de ventas por repuestos, tiempo por etapas de pedido y movimiento a sucursales de las tres empresas (teniendo especial atención en la empresa International).

5.5.1. Salidas de Repuestos

Uno de los efectos inmediatos de los planes ejecutados en el centro de distribución es el aumento en la capacidad de respuesta a los pedidos, dicho de otra forma, se espera ver un aumento en los pedidos que, efectivamente, salen de bodega a su destino, sea a través de venta directa, apoyo a taller o abastecimiento de sucursales.

Comparando el desempeño de noviembre y octubre del presente año, encontramos que efectivamente existe un aumento en los tres parámetros de medición (líneas e ítems por pedido y el número de pedido individual).

A un nivel macro, en el sector de taller se presentan las mayores variaciones porcentuales: los pedidos individuales aumentaron un 134,15 %, la cantidad de ítems ascienden a un 88,06 % y las líneas por pedido aumentaron un 76,09 %.

Continuando con el análisis, el sector de despacho también presenta aumentos significativos. El número de pedidos crece un 87,84 %, seguido de un aumento del 66,61 % en la cantidad de ítems y un 63,79 % en el número de líneas de pedido.

En la tabla Tabla 5.1, se muestra un detalle de las variaciones porcentuales, además del total a nivel de la bodega Quilicura, según parámetro.

Tabla 5.1: Variación Porcentual por Sector (General C.D.) Fuente: Elaboración Propia.

Bodega Quilicura	Líneas [%]	Ítems [%]	Pedidos [%]
Despacho	63,79 %	66,61 %	87,84 %
Meson	8,29 %	41,47 %	10,34 %
Taller	76,09 %	88,06 %	134,15 %
TOTAL	50,32 %	66,40 %	67,29 %

A nivel de empresa, como era de esperar, International presenta los mayores crecimientos porcentuales en todas las variables de medición. Como indica la Tabla 5.2, a nivel de líneas por pedido el aumento asciende a un 68,52 %, los pedidos aumentan un 48,55 % y los ítems por pedido crecen un 44,66 %. Naturalmente, si la capacidad de respuesta aumenta, también lo hace la cantidad de pedidos que los operarios pueden atender al día, permitiendo el despacho de pedidos cada vez más grandes y de manera más frecuente.

Tabla 5.2: Variación Porcentual por Sector (Según Empresa) Fuente: Elaboración Propia.

Empresa	Líneas [%]	Ítems [%]	Pedidos [%]
Maco Internacional	68,52 %	44,66 %	48,55 %
Global Motor	16,22 %	9,14 %	19,34 %
Motor Trade	12,57 %	13,48 %	17,12 %

Si bien, en la sección anterior se dijo que arribaron, durante el mes de noviembre, 2 nuevos operarios, uno a apoyar las labores de picking y el otro a las operaciones de recepción y almacenaje, la bodega aun cuenta con la misma maquinaria que tenía al inicio de este trabajo de memoria, por lo que es imposible que una sola persona adicional sea

responsable de un aumento, en promedio, de un 61,33 % en los pedidos, líneas e ítems. Claramente el efecto del reordenamiento estratégico y el proceso de orden físico de los racks y estanterías ha hecho que los procesos se vean agilizados, reduciendo los tiempos mal gastados por ineficiencias, aumentando el nivel de servicio para los clientes.

5.5.2. Tiempos de Recolección

La aplicación del modelo de slotting, tiene entre sus efectos esperados: aumentar la capacidad de respuesta en el centro y hacer mejor uso de los recursos humanos y de la maquinaria actual (reducir el tiempo de viaje y localización de productos), lo que deriva en una reducción en los tiempos de picking, además de reducir los costos operativos.

5.5.2.1. Maco International

Como el foco central de esta memoria fue la empresa International, es de esperar que los tiempos se picking y despacho (por líneas y código) sean menores que los obtenidos en el diagnóstico inicial (ver Tabla 3.2).

Tabla 5.3: Resumen de indicadores de tiempo para Maco International (Noviembre). Fuente: Elaboración Propia.

Maco International	Picking [min]	Despacho [min]	Ítem Mov.	N° Líneas
PROM	9,38	17,86	9	4
Picking/Pieza Mov.	1,01			
Picking/N° Líneas	2,35			

Como se aprecia en la Tabla 5.3, los tiempos de recolección y de despacho de la mercadería, han presentado una disminución significativa comparada con el histórico. En lo que concierne al picking, en promedio, el tiempo se reduce en un 8,91 %, mientras que el despacho de repuestos, lo hace en un 10,50 %. Lo interesante, y verdaderamente significativo, es que la cantidad promedio de ítems y líneas por pedido también aumentaron en este periodo, la primera en un 46,43 %, y la segunda en un 25,00 %. Por lo que, junto con lo anterior, encontramos que los ratios de picking por pieza y picking por número de líneas presentan una disminución considerablemente alta en el mes de control.

Comparado con los resultados expuestos en el diagnóstico inicial, combinado con el aumento de la capacidad de respuesta de los operarios (lo que se traduce en pedidos con un mayor número de líneas e ítems pedidos), el ratio de tiempos de picking por ítems solicitado se reduce en más de la mitad del tiempo original, presentando una reducción de un 103,29 %. Bajo la misma perspectiva, si medimos la eficiencia a través del tiempo de picking por el número de líneas por pedido, la reducción es menos dramática, pero igual de significativa, presentando una disminución de un 45,21 %. Podría pensarse, nuevamente, que el operario adicional que se integró el mes de noviembre, pudo ser el responsable del aumento sustantivo en las líneas e ítems por pedido. Sin embargo, no alcanza a justificar tamaño aumento de eficiencia, por lo que estos son efectos directos de la ejecución de los procesos de ordenamiento físico, y la aplicación del reordemaniento estratégico de existencias.

Figura 5.2: Rack 13 ordenado según modelo de Slotting. Fuente: Elaboración Propia.

5.5.2.2. Motor Trade y Global Motor

Continuando con la discusión, si bien es cierto que el modelo de Slotting se aplicó para los productos de la marca International, el proceso de orden es para la bodega en general, y su ejecución es igual que un inventario de barrido, es decir, se avanza por rack (independiente de la empresa a la que pertenezca). Los efectos de tener al menos un orden

visual de los racks, hace que las labores de picking, revisión y despacho de los pedidos puedan ser realizados de manera más ágil, reduciendo: los tiempos, los costos logísticos asociados al uso de maquinaria, mejorando la busqueda de ítems perdidos, reducir las no conformidades, etc.

Partiendo por la empresa Global Motor, observamos de inmediato que, en promedio, los pedidos reducen su contenido en líneas e ítems solicitados, sin embargo, los tiempos en los procesos de picking y despacho de mercadería presentaron un fuerte descenso, un 87,19 % y un 72,78 %, respectivamente. Este brusco descenso en los tiempos de dichos procesos provoca consigo un descenso en los ratios de picking por ítems y picking por línea, del orden de 40,39 % y 24,79 % respectivamente.

Tabla 5.4: Resumen de indicadores de tiempo para Global Motor (Noviembre). Fuente: Elaboración Propia.

Global Motor	Picking [min]	Despacho [min]	Ítem Mov.	N° Líneas
PROM	24,22	31,74	3	2
Picking/Pieza Mov.	8,07			
Picking/N° Líneas	12,11			

Continuando con Motor Trade, seguimos con la tendencia de una reducción en los tiempos de despacho, aunque si se presenta un aumento en los de picking, según la Tabla 5.5, dichos tiempos crecen en un 22,15 %. Sin embargo, los pedidos para esta firma aumentan en una unidad en cada parámetro según el diagnóstico inicial, pudiendo explicar el crecimiento en los tiempos de recolección. El lector debe recordar que tanto los productos de Motor Trade y Global Motor vienen en un formato deficiente, dificultando su identificación. Por los fenómenos anteriormente descritos, tenemos un aumento en el ratio picking por ítem de un 6,58 %, pero aun así, una reducción de un 3,80 % en el ratio picking por línea.

Tabla 5.5: Resumen de indicadores de tiempo para Motor Trade (Noviembre). Fuente: Elaboración Propia.

Motor Trade	Picking [min]	Despacho [min]	Ítem Mov.	N° Líneas
PROM	28,70	46,41	6	4
Picking/Pieza Mov.	4,78			
Picking/N° Líneas	7,18			

Con los antecedentes hasta ahora expuestos, se puede afirmar que el proceso de orden ha sido altamente efectivo. Los tiempos de operaciones logísticas han disminuido en la mayoría de los casos, los operarios son capaces de responder más velozmente a los pedidos, elevando los niveles de servicio y optimizando el uso de la escasa maquinaria actual.

5.5.3. Operación Por Dotación

Como ya se mencionó, los procesos integrados a las operaciones actuales de la bodega han tenido como efecto una reducción significativa en los tiempos de recolección y despacho de mercadería. Además, un aumento circunstancial en el tamaño promedio de los pedidos para las firmas International y Motor Trade, los operarios se han vuelto más eficientes en sus valores diarias, el protocolo instaurado en el mes de noviembre ha hecho que las estanterías y racks se mantengas ordenadas y el sistema de información ha reducido sus niveles de error.

Tabla 5.6: Resumen general de desempeño por sector para noviembre. Fuente: Elaboración Propia.

Por Sector	Despacho	Mesón	Taller
Pedidos x día	232	82	60
Ítem x día	1058	512	772
Líneas x día	468	180	213
Ítem x Pedido	5	7	14
Líneas x Pedido	3	3	4
Ítem x LÍneas	2	3	4

Tabla 5.7: Resumen general de desempeño por operario para noviembre. Fuente: Elaboración Propia.

Por Operario	Despacho	Meson - Taller	PONDERADO
Pedidos x día	46	71	89
ítem x día	212	642	688
Lineas x día	94	197	227

De la Tabla 5.6, observamos un considerable aumento de los pedidos, líneas e ítems que egresan de bodega, respecto al diagnóstico inicial. Destacamos especialmente los resultados del sector taller, donde se presentan los crecimientos más altos. En el parámetro de líneas por día, el aumento haciende a un 130,77 %. Debido a que una línea de negocio de Maco

S.A. es el arriendo de camiones pesados a diversas industrias (destacando minería), el servicio de taller para tener los camiones operativos toma una importancia vital para el crecimiento de la firma en el mercado.

El sector de despacho también presenta aumentos significativos, recordando los datos de la Tabla 5.1, dicho sector presenta los mayores aumentos porcentuales en los parámetros de líneas, ítems y pedidos, esto se refleja en los aumentos de pedidos que egresan de la bodega, de la Tabla 5.6, los pedidos que efectivamente salen del centro aumenta en un 87,10 %.

Observando la Tabla 5.7, los ítems por día ponderado que los operarios despachan de la bodega crece en un 152,44 %. El lector debe recordar que se agregó un operario más a la dotación de despacho, sin embargo, el cálculo ponderado del rendimiento nos permite obtener el aporte de cada operario de manera individual, por lo que el aumento es validado y atribuido al conjunto de mejoras que fueron aplicadas en el periodo de estudio. En segundo lugar, existe un aumento de un 118,13 % en las salidas según pedidos por día ponderado por operario, por último, pero no menos importante, las líneas por día que atiende un operario crece en un 110,85 %.

La Tabla 5.7, es la más importante para este estudio. La meta era demostrar la hipótesis de que un orden estratégico de las existencias, ordenar visualmente los repuestos que no pertenecían a muestra del modelo de slotting y establecer reglas claras de buenas conductas, iban a ser capaz de sopesar la debilidad del sistema de información, aumentando la capacidad de respuesta de los operarios, reduciendo los tiempos de procesos de despacho y reducir, en consecuencia, los costos logísticos asociados al centro de distribución.

5.5.4. Evaluación Económica

5.5.4.1. Inversión Inicial

Para llevar a cabo la ejecución de las propuestas mencionadas en secciones anteriores, se requirió un ingeniero civil industrial memorista, además de un total de 17 horas extras asignada a los operarios. A continuación, se presenta un cuadro resumen con la inversión monetaria:

Tabla 5.8: Cuadro Resumen de Inversión. Fuente: Elaboración Propia.

Concepto	Valor	Detalle
Sueldo	$ 340.000	Remuneración de alumno memorista por 2 meses
Horas Extras	$ 47.600	17 horas totales prorrateadas en 2 por día
Total	$ 387.600	

5.5.4.2. Ahorros

En esta sección, se determinará el ahorro incurrido en el centro de distribución, basado en el ahorro de horas hombre necesarias para cumplir con las demandas de pedido. Para poder identificar dicho ahorro, observamos el rendimiento y la demanda identificadas en el diagnostico (Tabla 3.5 y Tabla 3.6).

Tabla 5.9: Tabla demanda por variable (Diagnóstico). Fuente: Elaboración Propia.

Variable	Demanda Total Diaria
Pedidos	225
Ítems	1408
Lineas	573

Tabla 5.10: Resumen de desempeño (Diagnóstico). Fuente: Elaboración Propia.

Variable	Ponderado
Pedidos x día	41
ítem x día	273
Líneas x día	108

Haciendo una división simple entre la demanda diaria y el desempeño ponderado, nos

encontramos que, aproximadamente, la dotación necesaria para cumplir con las actividades es de 6 operarios, lo que coincide con la dotación total en el periodo del diagnóstico.

Tabla 5.11: Tabla demanda por variable (Noviembre). Fuente: Elaboración Propia.

Variable	Demanda Total Diaria
Pedidos	374
Ítem	2342
Líneas	861

Tabla 5.12: Resumen de desempeño (Noviembre). Fuente: Elaboración Propia.

Variable	Ponderado
Pedidos x día	89
ítem x día	688
Líneas x día	227

Repitiendo la operación anterior, para los resultados del mes de noviembre, encontramos que la dotación necesaria para cumplir con la demanda del centro distribución solo haciende a 5 operarios, de los 7 actuales responsables de los procesos de recolección y despacho, esto significa que 2 operarios no se están justificando. Sin embargo, suponiendo que los niveles de operación se mantienen estables en el tiempo, es muy arriesgado prescindir de los 2 operarios, puesto que en caso de un aumento puntual en los niveles de demanda (por ejemplo, el mes de "feria"), el centro de distribución quedaría incapaz de responder a los pedidos, disminuyendo los niveles de servicio al cliente.

Las mejoras implementadas han agilizado las labores de picking y despacho, la reducción de los tiempos en los procesos permite a los operarios ser más eficientes en la respuesta a los pedidos, haciendo posible una redistribución de los bodegueros en otras actividades.

En el caso de prescindir de un operario, el ahorro para la firma será su sueldo, más las gratificaciones y bonos. Esta información es muy delicada y la empresa restringe su conocimiento específico, sin embargo, informa que, en promedio, el sueldo de un operario haciende a $ 490.000. Con ayuda de una planilla especial utilizada por el departamento de recursos humanos, el costo para la empresa de despedir a un bodeguero es $1.550.395.

5.5.4.3. Valor Actual Neto (VAN)

Para calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja, originados por una inversión inicial, utilizamos la siguiente formula:

$$VAN = \sum_{t=1}^{n} \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \tag{5.3}$$

Donde n es el horizonte de medición, V_t representa los flujos de caja en cada periodo t, k es la tasa de interés mínima exigida por el proyecto e I_0, es la inversión inicial.

Es importante recordar que el objetivo de esta memoria es conseguir un aumento en la eficiencia de la bodega, por consiguiente, conseguir ahorros sustanciales en los costos logísticos, no en lograr un aumento en las ventas de repuestos. Por lo tanto, al referirnos a los flujos de caja, hacemos referencia al sueldo del bodeguero desvinculado como un ahorro (ingreso) en el cual la firma incurre. Como la desvinculación se considera permanente (la firma no tiene necesidad de contratar nuevo personal para el proceso de recolección y despacho), el horizonte de planificación se considera indefinido. Considerando a t como infinito y que el valor del sueldo ahorrado no varía en el tiempo, se obtiene una variación de Ecuación 5.3, más adecuada a este caso:

$$VAN = \frac{R}{k} - I_0 \tag{5.4}$$

Donde R representa el flujo de caja constante (ahorro de sueldos). Recopilando la información, tenemos el siguiente cuadro resumen de datos:

Tabla 5.13: Valores de Factores. Fuente: Elaboración Propia

Factor	Valor
R	\$490.000
I_0	\$1.937.995
k	5,3 %

A la inversión inicial expuesta en la Tabla 5.8, se debe agregar el costo por desvincular al operario, suma que haciende a $1.550.395. Por último, la tasa de interés utilizada corresponde a una tasa ponderada ofrecida por los bancos nacionales para inversiones a largo plazo en los fondos más conservadores. Al reemplazar los valores de la Tabla 5.13 en la Ecuación 5.4, obtenemos:

$$VAN = \frac{\$490{,}000}{5{,}3\,\%} - \$1{,}937{,}995$$

$$VAN = \$7{,}307{,}288$$

Como el VAN > 0, su interpretación nos dice que la inversión devengará ganancias por encima de la rentabilidad exigida por los inversionistas, por lo que el proyecto debería aceptarse en su totalidad.

5.5.4.4. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Con el fin de complementar el método del VAN, se hará uso del método de la Tasa Interna de Retorno, la cual corresponde a una medida de la rentabilidad de una inversión, mostrando cuál sería la tasa de interés más alta a la que el proyecto no genera ni pérdidas ni ganancias. En palabras más sencillas, corresponda a la tasa de interés a la cual el valor del VAN se vuelve 0. Esto nos entrega un criterio muy sencillo para determinar si conviene aprobar la inversión o invertir en algún instrumento financiero alterno.

Recordando que hablamos de flujos perpetuos, es posible encontrar una expresión simple y elegante para encontrar dicha tasa de interés. En la Ecuación 5.4, se reemplaza el valor del VAN por 0, despejando algébricamente la tasa de interés, obteniendo:

$$TIR = \frac{R}{I_0} \tag{5.5}$$

Reemplazando los valores en la Ecuación 5.5, obtenemos el valor de la tasa interna de retorno para este proyecto:

$$TIR = 25,28\,\%$$

El método para determinar si el proyecto es rentable o no, es comparar la tasa interna de retorno obtenida con la tasa de interés exigida por los inversionistas. Si la TIR es mayor o igual a la tasa de interés asociada, el proyecto debe aceptarse, debido a que proyecto entrega una rentabilidad mayor a la exigida por los inversores por tomar el riego, en caso contrario, si la TIR es menor a la tasa de interés, el proyecto debe ser rechazado, debido a que es más conveniente invertir en otro portafolio con un menor riego, o bien, no realizar ninguna acción.

Para este caso, la TIR es del orden de 25,28 %, superior a la tasa de interés (5,3 %), por lo que se concluye que el proyecto debe ser aceptado, debido a que generará mayores beneficios de lo que los inversores tenían presupuestados, siendo mucho más rentable que la alternativa de invertir en instrumentos financieros de renta fija al largo plazo.

6 | Conclusiones

La gestión logística se ha transformado en un pilar fundamental en el posicionamiento estratégico de mercado. Las decisiones más importantes implican conseguir una óptima coordinación entre la empresa y el cliente, elevar los niveles de servicio, reducir costos de producción y distribución y hacer uso eficiente de los activos.

La hipótesis que se intenta probar, es si el ordenamiento estratégico y el orden visual, son herramientas de gestión suficientes para aumentar la capacidad de respuesta del centro de distribución hacia las necesidades de sus clientes. Los resultados obtenidos con la ejecución del plan para optimizar las operaciones logísticas permiten confirmar este planteamiento.

Las limitaciones del ERP no permite un uso adecuado de las estanterías y racks, dicho de otro modo, la programación de las ubicaciones, stock y prioridades en el sistema no es realizada bajo criterios de optimización, sino que se hacen de manera arbitraria y subjetiva, además de lo anterior, las ubicaciones físicas de las existencias también se asignan de manera arbitraria para las tres marcas pertenecientes al holding de Maco S.A., limitando aún más las posibilidades de orden. Los largos viajes desde los tres puntos de salida de repuestos hacen aumentar los tiempos de recolección y despacho, reduciendo la capacidad de respuesta. Es este problema que el modelo de centro de gravedad soluciona, si bien el sistema no permite sugerir recolectar los repuestos cerca del punto solicitante (despacho, mesón o taller), la mejor opción resulta de almacenar en un rack tal que permita minimizar las distancias recorridas (con ello los tiempos de recolección) por los operarios asignados a cada punto de salida. El rack N°13 es el que cumple con las características mencionadas, si

bien puede parecer que se encuentra más alejada de los puntos correspondientes a mesón y taller, el punto de despacho es que el que mayor volumen se salida registra, aumentando la capacidad de respuesta del centro en general.

El segundo paso fue determinar cómo debían ser almacenadas las existencias. La muestra de repuestos con mayor demanda y volumen de despacho son en su totalidad repuestos de la marca International, por un lado, puede parecer un inconveniente, pero por lo expuesto en la memoria, este echo facilita su reorganización puesto que no está permitido mezclar empresas en los racks. En este punto, el modelo de optimización es capaz de resolver esta interrogante, su planteamiento se enfoca en una reducción de los tiempos de recolección, sujeto a restricciones de capacidad, peso y límites de variedad de productos en una ubicación. La correcta aplicación demuestra ser altamente efectiva en su cometido, los tiempos de recolección y despacho se reducen a la mitad, además se registran un aumento en los tamaños de pedidos, dicho de otro modo, la capacidad de respuesta del centro para los clientes crece satisfactoriamente.

Los modelos de optimización por si solos no son responsables al 100 % de los resultados obtenidos, junto con su planteamiento y ejecución se hace necesario reformar las prácticas de los operarios dentro del centro. Los protocolos instaurados, con aprobación de Gerencia de Repuestos y supervisión de la jefatura del centro, permitieron que reordenamiento se mantenga en las operaciones diarias, además de reducir las diferencias entre las existencias físicas y virtuales (informadas por el sistema). Con lo anterior, el nuevo proceso de ordenamiento físico de las estanterías y racks permitió apoyar a los procesos de recolección para las otras dos empresas que quedaron fuera del criterio de los modelos, aportando a la mejora continua en las operaciones logísticas del centro.

Los resultados obtenidos de los modelos de optimización, además de los protocolos y nuevos procesos descritos, formulados y ejecutados, resultaron ser sumamente satisfactorios, los rendimientos ponderados de los operarios se duplico, el ordenamiento logro mantenerse, las malas prácticas fueron paulatinamente disminuyendo en su frecuencia y el

orden visual de las existencias comenzaba a aparecer entre el desorden. Podemos, por lo descrito anteriormente, confirmar la hipótesis planteada, logrando cumplir con los objetivos planteados al comienzo de este estudio.

Los efectos de los procesos integrados generan ahorros para el centro, con el aumento de capacidad de respuesta, es posible reducir la dotación actual manteniendo la nueva capacidad de respuesta, esto significaría un VAN de $7.307.288 y una TIR de un 25,28 %, el primero informa que el proyecto es viable, la inversión inicial se recupera rápidamente y la segunda muestra que la tasa de retorno es mayor a invertir en un instrumento de renta fija. El factor central del éxito en este proyecto fue la aceptación y compromiso por parte del todo el equipo del centro de distribución y el apoyo constante de las jefaturas en las aplicaciones de todas las propuestas de mejora.

Los efectos de las propuestas planteadas, si bien son satisfactorios para los alcances impuestos, dejan la puerta abierta para la mejora continua. El modelo de optimización, que emula un modelo de slotting, puede aplicarse a la totalidad de los repuestos, realizando modificaciones a los conjuntos y parámetros, es posible obtener optimizar la totalidad de la bodega.

Para cerrar, la recomendación principal es no abandonar el ánimo de mejorar constantemente las operaciones dentro del centro. Si bien se evalúa el ahorro incurrido en prescindir de un operario, la mejor opción es mantenerlo para realizar actividades de consolidación (cuadrar stock físico con el virtual). El desarrollo de la memoria abre nuevos desafíos y oportunidades de mejoramiento, las más destacadas es realizar una evaluación económica para la adquisición de nueva maquinaria, rediseñar el layout del patio para un flujo eficiente de camiones, evaluar los servicios de despacho a sucursales, proponer mejoras de coordinación entre el departamento de ventas y el área de repuestos, entre otras. Identificar las ineficiencias es una parte importante, pero la atención de las jefaturas y la inversión de recursos juega un papel crucial para buscar posicionarse con fuerza en los mercados y obtener una ventaja sustentable en el tiempo.

Bibliografía

Bernal, Jairo Vásquez y Layton, Pedro (2013). Empresas Localizadas En El Municipio De Funza – Cundinamarca External Logistics Process Model for Commerce Companies of the Municipality of Funza – Cundinamarca. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Cientifica*, (pp. 563–570). 1.1

Chapman, Stephen (2006). *planificación y control de la producción*. 2.5.1

Chopra, S. y Meindl, P. (2008). *Administración de la cadena de suministro*. 2.4

García, Luis Aníbal Mora (2013). *Gestión Logística Integral*, volume 53. 2.2

Hillier, Frederick S. y Lieberman, Gerald J. (2010). *Introducción a la Investigación de Operaciones*. McGRAW-HILL, novena edición. 2.6.1

Jordi Pau Cos (2014). Manual logistica integral. 2.2

Lopes-Martínez, Igor y Inés Gómez-Acosta, Martha (2013). Auditoría logística para evaluar el nivel de gestión de inventarios en empresas The logistics auditory to assess the level of inventory management in companies. XXXIV(1), 108–118. 1.1

Martín Antonio, Ramón (2012). Gestión de Operaciones y logística. (pp. 142). 1.1

Mejías Díaz, Vanessa Gisselle (2015). Propuesta de Mejora de Layout para el Almacenamiento de Materias Primas. Caso Aplicado a una Empresa Productora de Papeles. (pp.$\tilde{9}$7). 2.2.1

Pérez, Miguel Mata (2014). Introducción a la programación lineal y entera Una simple presentación Programación lineal. (pp. 1–8). 2.6.3

Strategies, Competitive; For, Development; Coal, The; In, Industry; y Santander, Norte De (2015). Desarrollo de Estrategias Competitivas para la Industria del Carbón en Norte de Santander Competitive Strategies Development For The Coal Industry In Norte De Santander. 36(Nº 15), 65–74. 1.1

Unviersidad de Oviedo (2012). Gestión De Inventarios Y Almacenes. *Gestión De Inventarios Y Almacenes*, (pp.$\tilde{2}$8). 1.1

A | Diagnóstico Inicial Maco S.A.

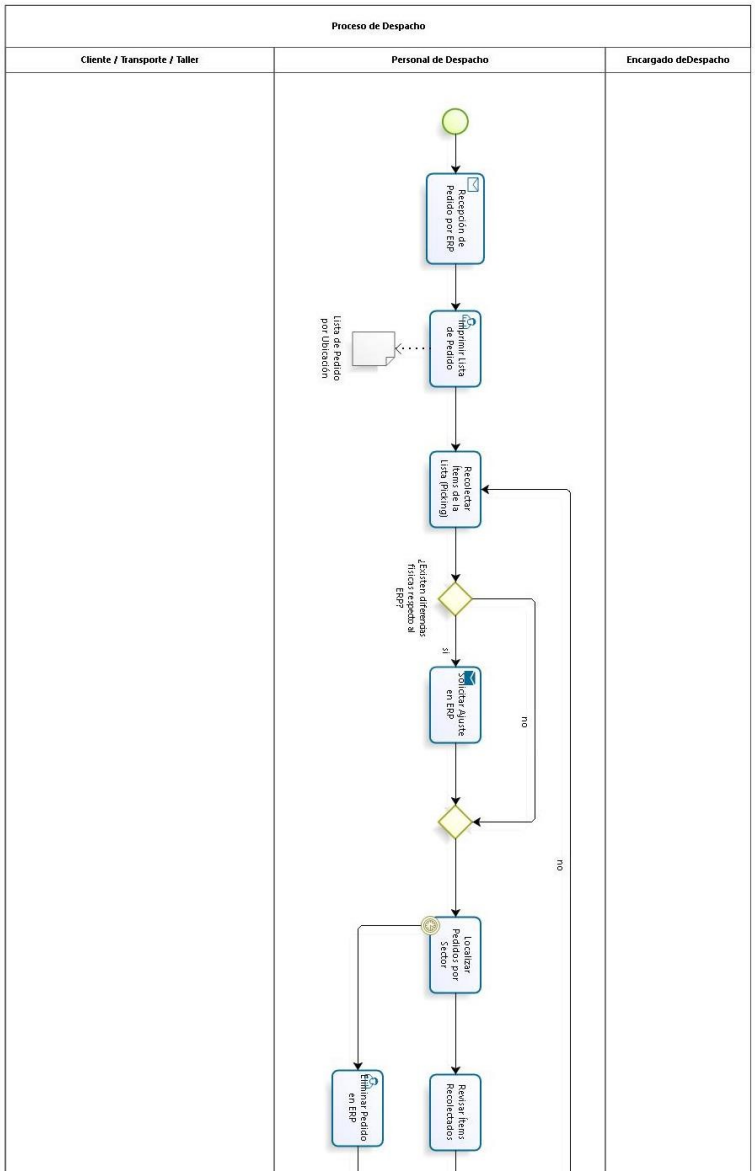

Figura A.1: Diagrama de Flujo - Proceso de Recolección 1. Fuente: Elaboración Propia

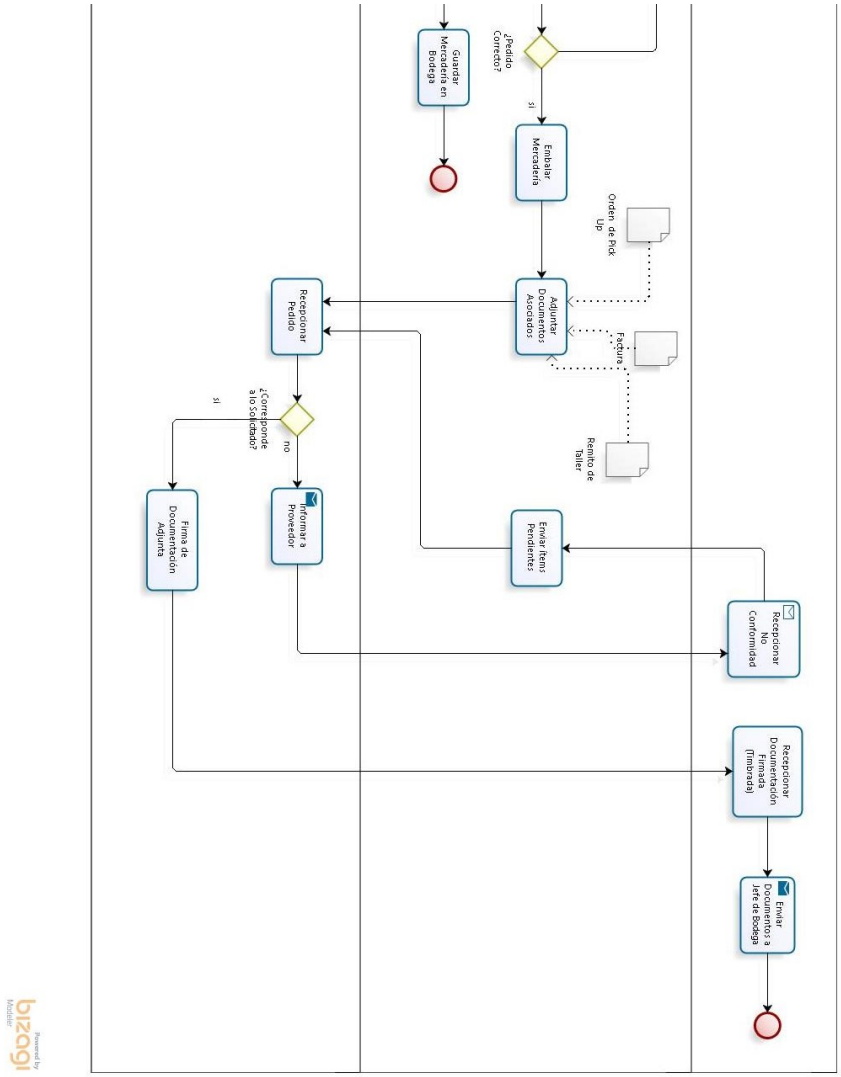

Figura A.2: Diagrama de Flujo - Proceso de Recolección 2. Fuente: Elaboración Propia

Tabla A.1: Distribución de Pedidos por Sector y Empresa. Fuente: Elaboración Propia.

Pedidos	Despacho [u]	Mesón [u]	Taller [u]	Total
Motor Trade	3683	1656	843	6182
Maco International	15688	5830	6288	27806
Global Motor	5705	1001	1447	8153
Total	25076	8487	8578	42141

Tabla A.2: Distribución de Líneas por Pedidos, por Sector y Empresa. Fuente: Elaboración Propia.

Líneas	Despacho [u]	Mesón [u]	Taller [u]	Total
Motor Trade	8586	3584	1687	13857
Maco International	51891	14641	21913	88445
Global Motor	12119	1995	3680	17794
Total	72596	20220	27280	120096

Tabla A.3: Distribución de Ítems por Pedidos, por Sector y Empresa. Fuente: Elaboración Propia.

Ítems	Despacho [u]	Mesón [u]	Taller [u]	Total
Motor Trade	16493	5234	2337	24064
Maco International	206281	39182	83829	329292
Global Motor	18470	2547	6118	27135
Total	241244	46963	92284	380491

Maco International				
Despacho	Picking [min]	Despacho [min]	Ítem Mov.	N° Lineas
PROM	11,87	31,09	8	3
Picking/Ítem Mov.	1,48			
Picking/N° Lineas	3,96			
Meson	Picking [min]	Despacho [min]	Ítem Mov.	N° Lineas
PROM	9,67	18,13	6	3
Picking/Ítem Mov.	1,61			
Picking/N° Lineas	3,22			
Taller	Picking [min]	Despacho [min]	Ítem Mov.	N° Lineas
PROM	9,10	10,00	1	1
Picking/Ítem Mov.	9,10			
Picking/N° Lineas	7,28			

Figura A.3: Tiempos Logísticos por Sector para Maco International. Fuente: Elaboración Propia

Motor Trade				
Despacho	Picking [min]	Despacho [min]	Ítem Mov.	N° Lineas
PROM	54,91	146,88	9	5
Picking/Ítem Mov.	6,10			
Picking/N° Lineas	10,98			
Meson	Picking [min]	Despacho [min]	Ítem Mov.	N° Lineas
PROM	6,22	10,39	3	2
Picking/Ítem Mov.	2,07			
Picking/N° Lineas	3,11			
Taller	Picking [min]	Despacho [min]	Ítem Mov.	N° Lineas
PROM	5,90	6,10	1	1
Picking/Ítem Mov.	5,90			
Picking/N° Lineas	5,90			

Figura A.4: Tiempos Logísticos por Sector para Motor Trade. Fuente: Elaboración Propia

Global Motor				
Despacho	Picking [min]	Despacho [min]	Ítem Mov.	N° Lineas
PROM	117,47	139,78	5	3
Picking/Ítem Mov.	23,49			
Picking/N° Lineas	39,16			
Meson	Picking [min]	Despacho [min]	Ítem Mov.	N° Lineas
PROM	10,94	16,62	3	3
Picking/Ítem Mov.	3,65			
Picking/N° Lineas	3,65			
Taller	Picking [min]	Despacho [min]	Ítem Mov.	N° Lineas
PROM	7,60	8,10	3	3
Picking/Ítem Mov.	2,53			
Picking/N° Lineas	2,53			

Figura A.5: Tiempos Logísticos por Sector para Global Motor. Fuente: Elaboración Propia

Tabla A.4: Resumen ABC por Ítem. Fuente: Elaboración Propia

Clasificación	Recuento	Salidas	Salida Promedio	% Articulos	% Salidas
Cant. de SKU AA	134	179888	22486	0,42 %	50 %
Cant. de SKU BB	645	90020	11252,5	2,02 %	25 %
Cant. de SKU CC	1693	54030	6753,75	5,30 %	15 %
Cant. de SKU DD	8702	36002	4500,25	27,24 %	10 %
Cant. de SKU EE	20775	0	0	65,03 %	0 %
Total SKU	31949	359940	44993	100 %	100 %

Tabla A.5: Resumen ABC por Línea. Fuente: Elaboración Propia

Clasificación	Recuento	Salidas	Salida Promedio	% Articulos	% Salidas
Cant. de SKU AA	624	55338	6917,25	1,95 %	50 %
Cant. de SKU BB	1584	27667	3458,375	4,96 %	25 %
Cant. de SKU CC	2894	16607	2075,875	9,06 %	15 %
Cant. de SKU DD	6267	11071	1383,875	19,62 %	10 %
Cant. de SKU EE	20580	0	0	64,42 %	0 %
Total SKU	31949	110683	13835	100 %	100 %

B | Método Centro de Gravedad

Tabla B.1: Volumen, Tiempo de Transporte y Coordenadas (Parte 1). Fuente: Elaboración Propia.

Punto i	Producto	Categoría	Factor	Vi m^3	Ri	X_i	Y_i
P1	A	1	3	0,025	1663,220	7	14,8
P2	B	4	2	0,025	809,986	8	10,6
P3	C	4	1	0,015	663,202	8	14,8
P4	D	4	3	0,025	987,171	8	17,6
P5	E	1	3	0,093	545,977	10	14,8
P6	F	2	3	0,036	124,571	12	9,2
P7	G	1	1	0,014	1408,715	13	13,4
P8	H	4	2	0,032	628,438	14	7,8
P9	I	7	1	0,082	1640,822	5	9,2
P10	J	1	3	0,019	2654,886	30	19
P11	K	7	3	0,276	364,947	5	14,8
P12	L	7	3	0,276	304,122	5	14,8
P13	M	5	1	0,552	95,532	5	17,6
P14	N	7	2	0,086	1658,561	6	7,8
P15	O	4	2	0,022	1476,537	6	7,8
P16	P	7	1	0,100	336,682	6	7,8
P17	Q	4	3	0,026	1522,908	6	9,2
P18	R	1	2	0,106	320,417	30	19
P19	S	7	1	0,222	831,720	7	19
P20	T	4	1	0,018	747,048	8	7,8
P21	U	5	1	0,039	590,402	8	9,2
P22	V	7	3	0,054	3030,736	8	10,6
P23	W	4	3	0,028	1495,713	8	10,6
P24	X	4	3	0,015	2709,880	8	12
P25	Y	4	3	0,014	3647,610	8	13,4

Tabla B.2: Volumen, Tiempo de Transporte y Coordenadas (Parte 2). Fuente: Elaboración Propia.

Punto i	Producto	Categoría	Factor	Vi m^3	Ri	X_i	Y_i
P26	Z	4	1	0,013	1298,909	8	16,2
P27	AA	7	1	0,027	1873,394	8	16,2
P28	AB	1	2	0,021	3015,294	12	9,2
P29	AC	7	3	0,029	1829,295	12	10,6
P30	AD	4	3	0,072	459,149	12	13,4
P31	AE	7	3	0,057	2012,225	12	16,2
P32	AF	4	3	0,028	1750,401	13	12
P33	AG	4	3	0,315	157,947	13	13,4
P34	AH	7	3	0,665	208,155	13	19
P35	AI	7	1	0,031	674,576	13	23,8
P36	AJ	7	2	0,014	3691,851	14	7,8
P37	AK	4	1	0,027	987,171	14	9,2
P38	AL	7	3	0,282	401,608	14	14,8
P39	AM	7	3	0,524	264,479	14	23,8
P40	AN	7	3	0,471	240,436	14	19
P41	AO	7	1	0,065	1165,668	14	23,8
P42	AP	7	1	0,065	2406,791	14	25,2
P43	AQ	7	1	0,038	1338,139	30	17,5
P44	AR	4	1	0,012	1961,001	31	19
P45	AS	7	1	0,011	1895,908	31	19
P46	AT	7	3	0,013	8544,713	32	17,5
P47	AU	7	1	0,008	4335,128	32	17,5
P48	AV	4	1	0,012	1144,348	32	17,5
P49	AW	4	1	0,014	1389,178	33	17,5
P50	AX	1	1	0,036	665,770	33	19
D1	DESPACHO	1-4-5-7	-	2,097	1000,000	4,5	0
D2	MESÓN	2-4-6-7	-	1,524	1000,000	32,5	27
D3	TALLER	3-5-6-7	-	1,427	1000,000	35	23,5

Tabla B.3: Cálculo de centro de Gravedad inicial (Parte 1). Fuente: Elaboración Propia.

Punto i	$V_i\ R_i$	$V_i\ R_i\ X_i$	$V_i\ R_i\ Y_i$
P1	42,279	295,953	625,730
P2	19,901	159,211	210,954
P3	9,951	79,605	147,270
P4	24,877	199,014	437,830
P5	50,735	507,349	750,876
P6	4,505	54,057	41,444
P7	19,328	251,258	258,989
P8	19,901	278,619	155,231
P9	134,285	671,425	1235,421
P10	50,735	1522,046	963,963
P11	100,714	503,568	1490,563
P12	83,928	419,640	1242,135
P13	52,727	263,637	928,001
P14	142,678	856,066	1112,886
P15	33,169	199,014	258,718
P16	33,571	201,427	261,856
P17	39,803	238,816	366,185
P18	33,823	1014,698	642,642
P19	184,642	1292,492	3508,193
P20	13,268	106,141	103,487
P21	23,068	184,546	212,227
P22	163,660	1309,278	1734,793
P23	41,461	331,689	439,488
P24	39,803	318,422	477,633
P25	49,753	398,027	666,696

Tabla B.4: Cálculo de centro de Gravedad inicial (Parte 2). Fuente: Elaboración Propia.

Punto i	$V_i\ R_i$	$V_i\ R_i\ X_i$	$V_i\ R_i\ Y_i$
P26	16,584	132,676	268,668
P27	50,357	402,855	815,781
P28	62,815	753,775	577,894
P29	52,455	629,461	556,023
P30	33,169	398,027	444,464
P31	115,401	1384,813	1869,498
P32	49,753	646,794	597,041
P33	49,753	646,794	666,696
P34	138,481	1800,257	2631,145
P35	20,982	272,766	499,372
P36	50,357	704,996	392,783
P37	26,535	371,492	244,123
P38	113,303	1586,241	1676,883
P39	138,481	1938,738	3295,855
P40	113,303	1586,241	2152,755
P41	75,535	1057,494	1797,739
P42	155,267	2173,737	3912,727
P43	50,357	1510,705	881,245
P44	23,218	719,766	441,147
P45	20,982	650,443	398,658
P46	113,303	3625,693	1982,801
P47	33,571	1074,279	587,496
P48	13,268	424,562	232,183
P49	19,901	656,745	348,274
P50	24,159	797,262	459,030
D1	2096,793	9435,570	0,000
D2	1523,596	49516,881	41137,101
D3	1426,977	49944,207	33533,967
TOTAL	8021,223	146499,267	120674,560

Tabla B.5: Cálculo para centro de gravedad incluyendo distancia (Parte 1). Fuente: Elaboración Propia.

Punto i	d_i	$V_i\ R_i\ /\ d_i$	$V_i\ R_i\ X_i\ /\ d_i$	$V_i\ R_i\ Y_i\ /\ d_i$
P1	11,267	3,753	26,268	55,538
P2	11,185	1,779	14,234	18,861
P3	10,267	0,969	7,754	14,344
P4	10,577	2,352	18,815	41,393
P5	8,268	6,137	61,366	90,822
P6	8,567	0,526	6,310	4,838
P7	5,515	3,505	45,561	46,962
P8	8,406	2,367	33,145	18,466
P9	14,494	9,265	46,323	85,234
P10	12,385	4,097	122,897	77,835
P11	13,266	7,592	37,959	112,358
P12	13,266	6,326	31,632	93,632
P13	13,508	3,903	19,517	68,701
P14	14,244	10,017	60,101	78,131
P15	14,244	2,329	13,972	18,164
P16	14,244	2,357	14,141	18,384
P17	13,585	2,930	17,579	26,954
P18	12,385	2,731	81,931	51,890
P19	11,938	15,466	108,264	293,860
P20	12,563	1,056	8,449	8,237
P21	11,811	1,953	15,625	17,968
P22	11,185	14,632	117,058	155,102
P23	11,185	3,707	29,655	39,293
P24	10,706	3,718	29,743	44,614
P25	10,395	4,786	38,291	64,137

Tabla B.6: Cálculo para centro de gravedad incluyendo distancia (Parte 2). Fuente: Elaboración Propia.

Punto i	d_i	$V_i\ R_i\ /\ d_i$	$V_i\ R_i\ X_i\ /\ d_i$	$V_i\ R_i\ Y_i\ /\ d_i$
P26	10,329	1,606	12,845	26,012
P27	10,329	4,875	39,003	78,981
P28	8,567	7,332	87,985	67,455
P29	7,680	6,830	81,956	72,394
P30	6,476	5,122	61,460	68,630
P31	6,370	18,117	217,408	293,500
P32	6,081	8,182	106,364	98,183
P33	5,515	9,022	117,283	120,891
P34	6,585	21,031	273,407	399,595
P35	10,216	2,054	26,700	48,881
P36	8,406	5,990	83,867	46,726
P37	7,235	3,668	51,350	33,744
P38	4,271	26,529	371,402	392,625
P39	9,739	14,220	199,076	338,430
P40	5,816	19,481	272,729	370,132
P41	9,739	7,756	108,587	184,598
P42	11,014	14,097	197,354	355,237
P43	11,990	4,200	125,995	73,497
P44	13,336	1,741	53,971	33,079
P45	13,336	1,573	48,773	29,893
P46	13,954	8,120	259,835	142,097
P47	13,954	2,406	76,988	42,103
P48	13,954	0,951	30,426	16,639
P49	14,939	1,332	43,961	23,313
P50	15,258	1,583	52,253	30,085
D1	20,391	102,831	462,739	0,000
D2	18,590	81,956	2663,580	2212,820
D3	18,751	76,102	2663,579	1788,403
TOTAL		576,959	9797,465	8933,662

C | Modelo Programación Entera Mixto

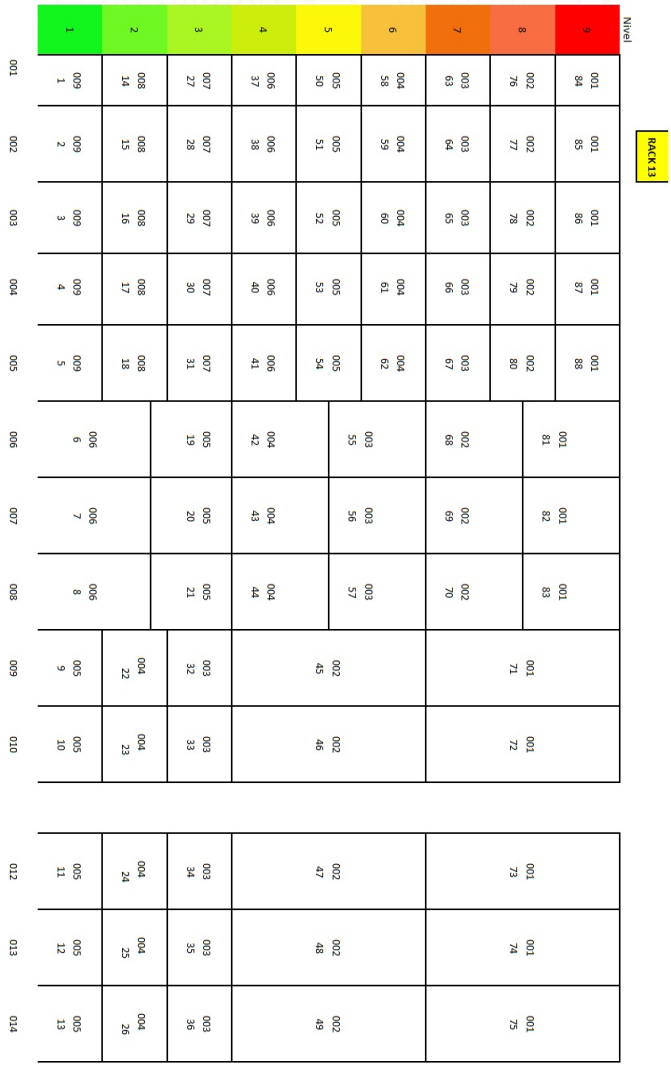

Figura C.1: Esquema rack 13 (no a escala). Fuente: Elaboración Propia.

Tabla C.1: Muestra de repuestos (Parte 1). Fuente: Elaboración Propia.

Producto	SKU	Descripción
1	LF14000NN	FILTRO ACEITE SERV.EXT. CORTO
2	WF2071	FILTRO AGUA TODAS LAS SERIES I
3	FS1029W	FILTRO PETROLEO 9800 ISM BRASI
4	FS1000	FILTRO COMB.9200/9800 USA CANA
5	DONP559000	FILTRO DE ACEITE (LF9001)
6	AF25997	FILTRO AIRE
7	FS19624	FILTRO COMBUSTIBLE DAVCO 382
8	FF2200	FILTRO COMBUSTIBLE ISX
9	LF16015	FILTRO ACEITE 9150EOD
10	AF26103	FILTRO AIRE
11	LF3000	FILTRO ACEITE COMBO STANDARD
12	AF25139M	FILTRO AIRE PRIM. 9200I CANADA
13	DONP613336	FILTRO AIRE (PROSTAR)
14	DONP613336	FILTRO AIRE (PROSTAR)
15	FF42000	FILTRO PETROLEO
16	LF3349	FILTRO ACEITE
17	AF26268	FILTRO AIRE SEG. 7600
18	AF25707	FILTRO AIRE 4300 PRIMARIO NGV
19	LF3883	FILTRO ACEITE DT466E Y 530E
20	C127760	DISCO FRENO CAJA 2"
21	HF35476	FILTRO HIDRAULICO DIRECCION
22	LF9009	FILTRO ACEITE VENTURY SERV.EXT
23	DONP552071	FILTRO AGUA
24	DONP550463	FILTRO COMBUSTIBLE
25	FF5488	FILTRO DE COMBUSTIBLE
26	AF25685	FILTRO AIRE 9800 ISM BRASIL
27	LF3620	FILTRO DE ACEITE DETROIT
28	FF5052	FILTRO PETROLEO CUMMINS
29	FS1280	FILTRO SEDIMENTADOR
30	FS19684E	FILTRO COMBUSTIBLE DT466 SERIE

Tabla C.2: Muestra de repuestos (Parte 2). Fuente: Elaboración Propia.

Producto	SKU	Descripción
31	FF5269	FILTRO COMB. DT-466-E
32	LF9025	FILTRO ACEITE DT-570
33	FS1242	FILTRO SEDIMENTADOR
34	FS1040	FILTRO COMBUSTIBLE ISX C/WIF
35	FS19727	FILTRO SEPARADOR ISM
36	DONP552100	FILTRO DE ACEITE
37	WF2126	FILTRO AGUA DCA4 8UN ISX SIGNA
38	FS19593	FILTRO SEPARADOR (S3226P)
39	AF25732	FILTRO AIRE SEGURIDAD 4300 NGV
40	FS19532	FILTRO DESCANTADOR (R90P)
41	CR1630	TAPA MASA
42	HD60675003	AMORTIGUADOR HAS-460 HI-TORQUE
43	DONP553000	FILTRO DE ACEITE
44	LF689	FILTRO DIFERENCIAL 8100-9200-9
45	1515966C1	BUJES BARRAS
46	FLTP22	PLUMILLA 22"9200 TRANSTAR PR
47	FS1015	FILTRO SEPARADOR (UPGRADE DEL
48	DONP551000	FILTRO COMBUSTIBLE
49	AF26211	FILTRO AIRE SECUNDARIO
50	DONP527683	FILTRO DE AIRE

Tabla C.3: Tiempo de picking por ubicación (Modelo Base). Fuente: Elaboración Propia.

Ubicación	T_i [min]	Ubicación	T_i [min]	Ubicación	T_i [min]
1	1,6250	31	2,9954	61	8,9263
2	1,6250	32	2,9954	62	8,9263
3	1,6250	33	2,9954	63	9,0083
4	1,6250	34	2,9954	64	9,0083
5	1,6250	35	2,9954	65	9,0083
6	1,6250	36	2,9954	66	9,0083
7	1,6250	37	7,6433	67	9,0083
8	1,6250	38	7,6433	68	9,0083
9	1,6250	39	7,6433	69	9,0083
10	1,6250	40	7,6433	70	9,0083
11	1,6250	41	7,6433	71	9,0083
12	1,6250	42	7,6433	72	9,0083
13	1,6250	43	7,6433	73	9,0083
14	2,7412	44	7,6433	74	9,0083
15	2,7412	45	7,6433	75	9,0083
16	2,7412	46	7,6433	76	11,5204
17	2,7412	47	7,6433	77	11,5204
18	2,7412	48	7,6433	78	11,5204
19	2,7412	49	7,6433	79	11,5204
20	2,7412	50	8,2292	80	11,5204
21	2,7412	51	8,2292	81	11,5204
22	2,7412	52	8,2292	82	11,5204
23	2,7412	53	8,2292	83	11,5204
24	2,7412	54	8,2292	84	16,4842
25	2,7412	55	8,2292	85	16,4842
26	2,7412	56	8,2292	86	16,4842
27	2,9954	57	8,2292	87	16,4842
28	2,9954	58	8,9263	88	16,4842
29	2,9954	59	8,9263		
30	2,9954	60	8,9263		

Tabla C.4: Máximo volumen permitido en la ubicación i (Modelo Base). Fuente: Elaboración Propia.

Ubicación	V_i $[m^3]$	Ubicación	V_i $[m^3]$	Ubicación	V_i $[m^3]$
1	1,0296	31	1,5309	61	1,7496
2	2,1384	32	1,2879	62	1,7496
3	2,1384	33	1,2879	63	0,7371
4	2,1384	34	1,2879	64	1,7496
5	2,1384	35	1,2879	65	1,7496
6	2,8674	36	1,2879	66	1,7496
7	2,8674	37	0,7371	67	1,7496
8	2,8674	38	1,5309	68	2,2599
9	2,1384	39	1,5309	69	2,2599
10	2,1384	40	1,5309	70	2,2599
11	2,1384	41	1,5309	71	5,103
12	2,1384	42	2,5029	72	5,103
13	2,1384	43	2,5029	73	5,103
14	0,7371	44	2,5029	74	5,103
15	1,5309	45	5,103	75	5,103
16	1,5309	46	5,103	76	0,7371
17	1,5309	47	5,103	77	1,5309
18	1,5309	48	5,103	78	1,5309
19	2,5029	49	5,103	79	1,5309
20	2,5029	50	0,7371	80	1,5309
21	2,5029	51	1,5309	81	2,5029
22	1,5309	52	1,5309	82	2,5029
23	1,5309	53	1,5309	83	2,5029
24	1,5309	54	1,5309	84	0,8424
25	1,5309	55	2,5029	85	1,5552
26	1,5309	56	2,5029	86	1,5552
27	0,7371	57	2,5029	87	1,5552
28	1,5309	58	0,8424	88	1,5552
29	1,5309	59	1,7496		
30	1,5309	60	1,7496		

Tabla C.5: Cantidad mínima a ser almacenada y volumen de ítem (Modelo Base). Fuente: Elaboración Propia.

Ítem	Alm_j $[u]$	Vol_j $[m^3]$	Ítem	Alm_j $[u]$	Vol_j $[m^3]$
1	106	0,0254	26	24	0,0128
2	68	0,0246	27	26	0,0269
3	123	0,0150	28	16	0,0104
4	88	0,0252	29	15	0,0287
5	218	0,0133	30	140	0,0181
6	433	0,0181	31	26	0,0287
7	436	0,0017	32	12	0,0284
8	31	0,0317	33	154	0,0630
9	68	0,0136	34	206	0,0605
10	199	0,0027	35	38	0,0311
11	419	0,0345	36	10	0,0136
12	219	0,0345	37	12	0,0269
13	204	0,0345	38	132	0,0313
14	34	0,0287	39	104	0,0476
15	144	0,0225	40	122	0,0524
16	76	0,0499	41	11	0,0324
17	22	0,0261	42	2	0,0161
18	3	0,1056	43	13	0,0188
19	38	0,0278	44	2	0,0118
20	59	0,0178	45	10	0,0111
21	32	0,0195	46	7	0,0133
22	35	0,0180	47	15	0,0039
23	29	0,0277	48	18	0,0116
24	7	0,0147	49	13	0,0143
25	34	0,0136	50	4	0,0181

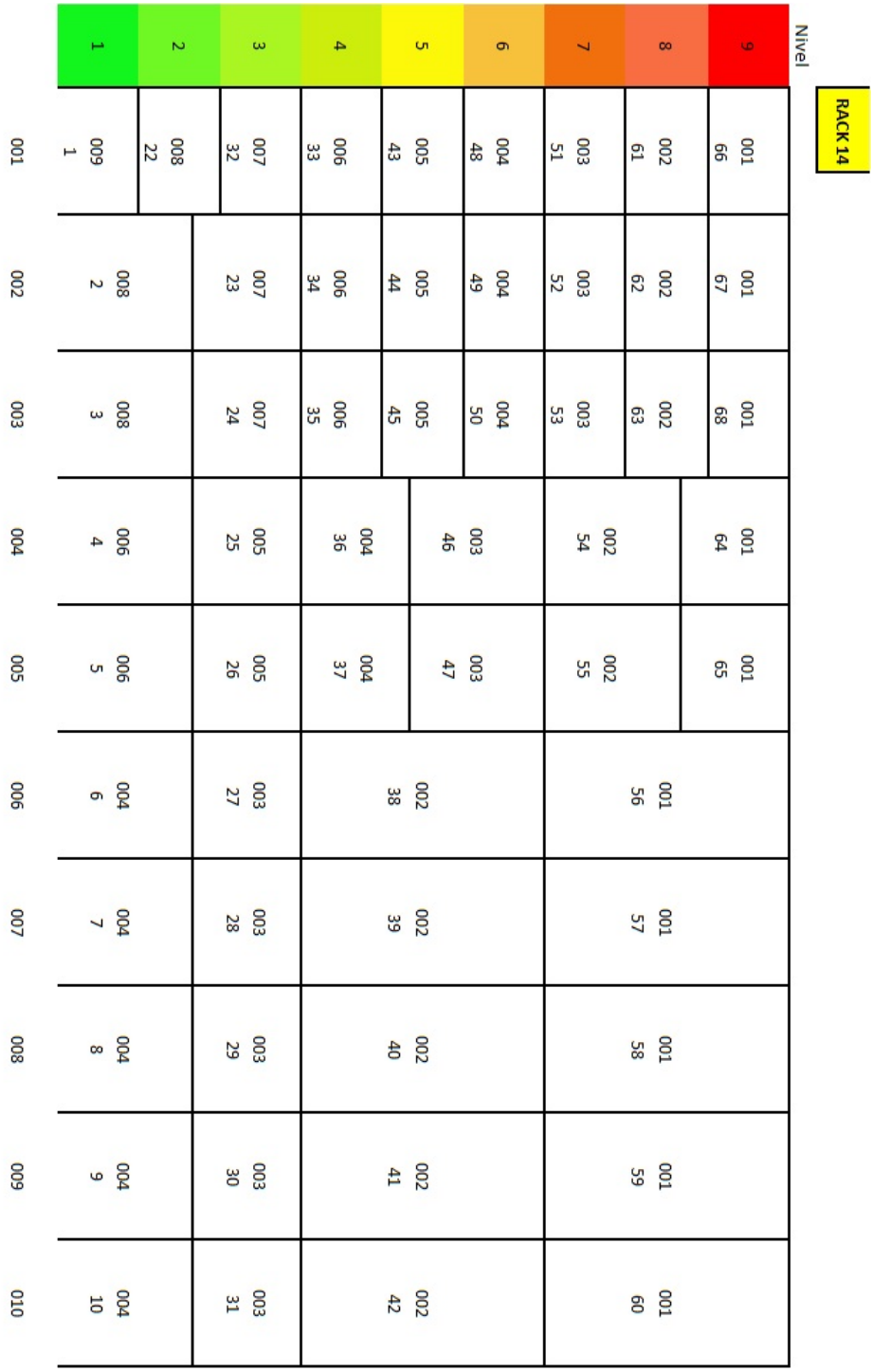

Figura C.2: Esquema rack 14 (no a escala). Fuente: Elaboración Propia.

Tabla C.6: Tiempo de picking por ubicación (Modelo Prueba 1). Fuente: Elaboración Propia.

Ubicación	T_i [min]	Ubicación	T_i [min]
1	1,63	35	7,64
2	1,63	36	7,64
3	1,63	37	7,64
4	1,63	38	7,64
5	1,63	39	7,64
6	1,63	40	7,64
7	1,63	41	7,64
8	1,63	42	7,64
9	1,63	43	8,23
10	1,63	44	8,23
11	1,63	45	8,23
12	1,63	46	8,93
13	1,63	47	8,93
14	1,63	48	8,93
15	1,63	49	8,93
16	1,63	50	8,93
17	1,63	51	9,01
18	1,63	52	9,01
19	1,63	53	9,01
20	1,63	54	9,01
21	2,74	55	9,01
22	2,74	56	9,01
23	3,00	57	9,01
24	3,00	58	9,01
25	3,00	59	9,01
26	3,00	60	9,01
27	3,00	61	11,52
28	3,00	62	11,52
29	3,00	63	11,52
30	3,00	64	16,48
31	3,00	65	16,48
32	3,00	66	16,48
33	7,64	67	16,48
34	7,64	68	16,48

Tabla C.7: Máximo volumen permitido en la ubicación i (Modelo Prueba 1). Fuente: Elaboración Propia.

Ubicación	V_i $[m^3]$	Ubicación	V_i $[m^3]$
1	1,017	35	1,503
2	3,348	36	2,52
3	3,348	37	2,52
4	3,348	38	5,13
5	3,348	39	5,13
6	3,348	40	5,13
7	3,348	41	5,13
8	3,348	42	5,13
9	3,348	43	0,738
10	3,348	44	1,503
11	1,017	45	1,503
12	3,348	46	2,502
13	3,348	47	2,502
14	3,348	48	0,873
15	3,348	49	1,773
16	3,348	50	1,773
17	3,348	51	0,738
18	3,348	52	1,503
19	3,348	53	1,503
20	3,348	54	2,268
21	0,729	55	2,268
22	0,729	56	5,094
23	2,016	57	5,094
24	2,016	58	5,094
25	2,016	59	5,094
26	2,016	60	5,094
27	2,016	61	0,738
28	2,016	62	1,512
29	2,016	63	1,512
30	2,016	64	2,52
31	2,016	65	2,52
32	0,729	66	0,864
33	0,747	67	1,539
34	1,503	68	1,539

Tabla C.8: Resultados utilizando rack 14 con 50 SKU (Parte 1). Fuente: Elaboración Propia.

SKU	Descripción	Ubicación	Stock
LF9009	FILTRO ACEITE VENTURY SERV.EXT	R14-001-008	210
AF25707	FILTRO AIRE 4300 PRIMARIO NGV	R14-001-009	300
AF25685	FILTRO AIRE 9800 ISM BRASIL	R14-001-009	144
LF9025	FILTRO ACEITE DT-570	R14-001-009	144
LF3349	FILTRO ACEITE	R14-002-007	216
LF3000	FILTRO ACEITE COMBO STANDARD	R14-002-008	66
AF26268	FILTRO AIRE SEG. 7600	R14-002-008	264
FS1280	FILTRO SEDIMENTADOR	R14-002-008	90
LF3000	FILTRO ACEITE COMBO STANDARD	R14-003-007	58
LF16015	FILTRO ACEITE 9150EOD	R14-003-008	408
FF5269	FILTRO COMB. DT-466-E	R14-003-008	156
FS1242	FILTRO SEDIMENTADOR	R14-003-008	23
FS19624	FILTRO COMBUSTIBLE DAVCO 382	R14-004-005	64
FS19624	FILTRO COMBUSTIBLE DAVCO 382	R14-004-006	436
FS19593	FILTRO SEPARADOR (S3226P)	R14-004-006	68
DONP551000	FILTRO COMBUSTIBLE	R14-004-006	108
FF2200	FILTRO COMBUSTIBLE ISX	R14-005-006	372
C127760	DISCO FRENO CAJA 2"	R14-005-006	354
FS19727	FILTRO SEPARADOR ISM	R14-005-006	228
AF25997	FILTRO AIRE	R14-006-002	283
WF2071	FILTRO AGUA TODAS LAS SERIES I	R14-006-003	816
FS19532	FILTRO DESCANTADOR (R90P)	R14-006-004	63
FS1029W	FILTRO PETROLEO 9800 ISM BRASI	R14-007-002	148
FS1029W	FILTRO PETROLEO 9800 ISM BRASI	R14-007-003	738
DONP552071	FILTRO AGUA	R14-007-004	348
FS19684E	FILTRO COMBUSTIBLE DT466 SERIE	R14-007-004	140
FS1242	FILTRO SEDIMENTADOR	R14-008-002	81
LF3349	FILTRO ACEITE	R14-008-003	240
DONP559000	FILTRO DE ACEITE (LF9001)	R14-008-004	218
WF2126	FILTRO AGUA DCA4 8UN ISX SIGNA	R14-008-004	144
DONP527683	FILTRO DE AIRE	R14-008-004	24
LF3000	FILTRO ACEITE COMBO STANDARD	R14-009-001	147

Tabla C.9: Resultados utilizando rack 14 con 50 SKU (Parte 2). Fuente: Elaboración Propia.

SKU	Descripción	Ubicación	Stock
LF3000	FILTRO ACEITE COMBO STANDARD	R14-009-002	148
DONP613336	FILTRO AIRE (PROSTAR)	R14-009-003	34
AF26103	FILTRO AIRE	R14-009-004	199
AF25139M	FILTRO AIRE PRIM. 9200I CANADA	R14-009-004	71
DONP553000	FILTRO DE ACEITE	R14-009-004	78
AF25732	FILTRO AIRE SEGURIDAD 4300 NGV	R14-010-001	104
AF25139M	FILTRO AIRE PRIM. 9200I CANADA	R14-010-002	148
DONP613336	FILTRO AIRE (PROSTAR)	R14-010-003	56
FS1000	FILTRO COMB.9200/9800 USA CANA	R14-010-004	528
LF3883	FILTRO ACEITE DT466E Y 530E	R14-010-004	228
LF3620	FILTRO DE ACEITE DETROIT	R15-001-009	312
1515966C1	BUJES BARRAS	R15-001-009	60
AF26211	FILTRO AIRE SECUNDARIO	R15-001-009	156
LF14000NN	FILTRO ACEITE SERV.EXT. CORTO	R15-002-008	1272
FF5488	FILTRO DE COMBUSTIBLE	R15-002-008	204
DONP552100	FILTRO DE ACEITE	R15-002-008	60
AF25997	FILTRO AIRE	R15-003-008	159
DONP550463	FILTRO COMBUSTIBLE	R15-003-008	42
CR1630	TAPA MASA	R15-003-008	132
FF42000	FILTRO PETROLEO	R15-004-006	864
HD60675003	AMORTIGUADOR HAS-460 HI-TORQUE	R15-004-006	24
FS1015	FILTRO SEPARADOR (UPGRADE DEL	R15-004-006	90
FF5052	FILTRO PETROLEO CUMMINS	R15-005-006	192
LF689	FILTRO DIFERENCIAL 8100-9200-9	R15-005-006	100
FS1040	FILTRO COMBUSTIBLE ISX C/WIF	R15-007-004	55
FLTP22	PLUMILLA 22"9200 TRANSTAR PR	R15-009-004	84
HF35476	FILTRO HIDRAULICO DIRECCION	R15-010-005	192
FS1242	FILTRO SEDIMENTADOR	R15-005-006	50
FS19532	FILTRO DESCANTADOR (R90P)	R15-006-004	59
FS1040	FILTRO COMBUSTIBLE ISX C/WIF	R15-008-004	55
FS1040	FILTRO COMBUSTIBLE ISX C/WIF	R15-009-004	51
FS1040	FILTRO COMBUSTIBLE ISX C/WIF	R15-010-005	45

Tabla C.10: Muestra de repuestos (Modelo Prueba 2). Fuente: Elaboración Propia.

Producto	SKU	Descripción
51	FS1212	FILTRO DESC. 4700-4900 MEX
52	DONP551329	FILTRO SEDIMENTADOR
53	AF25075	FILTRO DE AIRE FORD CARGO 915
54	GEH6054	OPTICO MAYOR 2B1 STD SIN CARCA

Tabla C.11: Cantidad mínima a ser almacenada y volumen de ítem (Modelo Prueba 2). Fuente: Elaboración Propia.

Ítem	Alm_j $[u]$	Vol_j $[m^3]$
51	5	0,024570
52	11	0,025420
53	74	0,018522
54	59	0,004200

Tabla C.12: Resultados utilizando rack 13 con 54 SKU (Parte 1). Fuente: Elaboración Propia.

SKU	Descripción	Ubicación	Stock
LF9009	FILTRO ACEITE VENTURY SERV.EXT	R13-001-008	210
CR1630	TAPA MASA	R13-001-009	123
FS1015	FILTRO SEPARADOR (UPGRADE DEL	R13-001-009	78
DONP527683	FILTRO DE AIRE	R13-001-009	19
DONP613336	FILTRO AIRE (PROSTAR)	R13-002-007	29
FF2200	FILTRO COMBUSTIBLE ISX	R13-002-008	312
FS1242	FILTRO SEDIMENTADOR	R13-002-008	156
FS1029W	FILTRO PETROLEO 9800 ISM BRASI	R13-002-009	714
FF5269	FILTRO COMB. DT-466-E	R13-002-009	156
1515966C1	BUJES BARRAS	R13-002-009	55
LF14000NN	FILTRO ACEITE SERV.EXT. CORTO	R13-003-007	330
FS1000	FILTRO COMB.9200/9800 USA CANA	R13-003-008	480
AF25707	FILTRO AIRE 4300 PRIMARIO NGV	R13-003-009	49
DONP552100	FILTRO DE ACEITE	R13-003-009	60
DONP551000	FILTRO COMBUSTIBLE	R13-003-009	108
LF14000NN	FILTRO ACEITE SERV.EXT. CORTO	R13-004-007	330
FF42000	FILTRO PETROLEO	R13-004-008	864
FF5488	FILTRO DE COMBUSTIBLE	R13-004-008	192
LF14000NN	FILTRO ACEITE SERV.EXT. CORTO	R13-004-009	282
FS19727	FILTRO SEPARADOR ISM	R13-004-009	210
WF2126	FILTRO AGUA DCA4 8UN ISX SIGNA	R13-004-009	102
LF14000NN	FILTRO ACEITE SERV.EXT. CORTO	R13-005-007	330
LF3620	FILTRO DE ACEITE DETROIT	R13-005-008	300
HF35476	FILTRO HIDRAULICO DIRECCION	R13-005-009	186
AF25732	FILTRO AIRE SEGURIDAD 4300 NGV	R13-005-009	97
GEH6054	OPTICO MAYOR 2B1 STD SIN CARCA	R13-005-009	59
AF26268	FILTRO AIRE SEG. 7600	R13-006-005	68
AF26103	FILTRO AIRE	R13-006-006	13
AF25139M	FILTRO AIRE PRIM. 9200I CANADA	R13-006-006	35
DONP552071	FILTRO AGUA	R13-006-006	336
AF25997	FILTRO AIRE	R13-007-005	72
AF25685	FILTRO AIRE 9800 ISM BRASIL	R13-007-006	44
HD60675003	AMORTIGUADOR HAS-460 HI-TORQUE	R13-007-006	21
AF25139M	FILTRO AIRE PRIM. 9200I CANADA	R13-008-005	52
DONP613336	FILTRO AIRE (PROSTAR)	R13-008-006	45

Tabla C.13: Resultados utilizando rack 13 con 54 SKU (Parte 2). Fuente: Elaboración Propia.

SKU	Descripción	Ubicación	Stock
FF5052	FILTRO PETROLEO CUMMINS	R13-008-006	192
FS19593	FILTRO SEPARADOR (S3226P)	R13-008-006	132
AF25139M	FILTRO AIRE PRIM. 9200I CANADA	R13-009-002	107
WF2071	FILTRO AGUA TODAS LAS SERIES I	R13-009-004	756
DONP553000	FILTRO DE ACEITE	R13-009-004	78
LF3000	FILTRO ACEITE COMBO STANDARD	R13-009-005	396
C127760	DISCO FRENO CAJA 2"	R13-009-005	400
FS1212	FILTRO DESC. 4700-4900 MEX	R13-009-005	60
AF26268	FILTRO AIRE SEG. 7600	R13-010-001	147
AF26103	FILTRO AIRE	R13-010-002	84
FS1280	FILTRO SEDIMENTADOR	R13-010-004	60
AF25075	FILTRO DE AIRE FORD CARGO 915	R13-010-004	74
LF3883	FILTRO ACEITE DT466E Y 530E	R13-010-005	228
LF689	FILTRO DIFERENCIAL 8100-9200-9	R13-010-005	96
FLTP22	PLUMILLA 22"9200 TRANSTAR PR	R13-010-005	100
AF26103	FILTRO AIRE	R13-012-001	82
AF25685	FILTRO AIRE 9800 ISM BRASIL	R13-012-002	81
FS19624	FILTRO COMBUSTIBLE DAVCO 382	R13-012-003	426
LF16015	FILTRO ACEITE 9150EOD	R13-012-004	360
LF9025	FILTRO ACEITE DT-570	R13-012-004	126
DONP559000	FILTRO DE ACEITE (LF9001)	R13-012-005	192
FS19532	FILTRO DESCANTADOR (R90P)	R13-012-005	126
HF6710	FILTRO HIDRAULICO	R13-012-005	144
AF25997	FILTRO AIRE	R13-013-001	147
DONP613336	FILTRO AIRE (PROSTAR)	R13-013-002	97
FS1040	FILTRO COMBUSTIBLE ISX C/WIF	R13-013-003	204
AF25997	FILTRO AIRE	R13-013-004	44
DONP613336	FILTRO AIRE (PROSTAR)	R13-013-005	30
FS19684E	FILTRO COMBUSTIBLE DT466 SERIE	R13-013-005	132
DONP551329	FILTRO SEDIMENTADOR	R13-013-005	132
AF25707	FILTRO AIRE 4300 PRIMARIO NGV	R13-014-001	147
AF25997	FILTRO AIRE	R13-014-002	147
LF3349	FILTRO ACEITE	R13-014-003	456
AF25707	FILTRO AIRE 4300 PRIMARIO NGV	R13-014-004	44
DONP550463	FILTRO COMBUSTIBLE	R13-014-005	48
AF26211	FILTRO AIRE SECUNDARIO	R13-014-005	152

Tabla C.14: Muestra de repuestos categorizados (Parte 1). Fuente: Elaboración Propia.

SKU	Descripción	Categoría SKU
AF25997	FILTRO AIRE	5
AF25707	FILTRO AIRE 4300 PRIMARIO NGV	7
AF26268	FILTRO AIRE SEG. 7600	7
LF14000NN	FILTRO ACEITE SERV.EXT. CORTO	7
DONP613336	FILTRO AIRE (PROSTAR)	7
AF25139M	FILTRO AIRE PRIM. 9200I CANADA	7
AF26103	FILTRO AIRE	7
AF26211	FILTRO AIRE SECUNDARIO	1
AF25685	FILTRO AIRE 9800 ISM BRASIL	4
CR1630	TAPA MASA	4
FS1029W	FILTRO PETROLEO 9800 ISM BRASI	7
AF25732	FILTRO AIRE SEGURIDAD 4300 NGV	4
FF42000	FILTRO PETROLEO	7
FS19624	FILTRO COMBUSTIBLE DAVCO 382	7
LF3000	FILTRO ACEITE COMBO STANDARD	7
WF2071	FILTRO AGUA TODAS LAS SERIES I	7
1515966C1	BUJES BARRAS	1
FF2200	FILTRO COMBUSTIBLE ISX	7
LF3620	FILTRO DE ACEITE DETROIT	4
FS1000	FILTRO COMB.9200/9800 USA CANA	7
LF3349	FILTRO ACEITE	4
LF3883	FILTRO ACEITE DT466E Y 530E	7
LF9009	FILTRO ACEITE VENTURY SERV.EXT	5
FS19727	FILTRO SEPARADOR ISM	4
FS1040	FILTRO COMBUSTIBLE ISX C/WIF	7
DONP559000	FILTRO DE ACEITE (LF9001)	7
FF5488	FILTRO DE COMBUSTIBLE	7
HF35476	FILTRO HIDRAULICO DIRECCION	7
LF16015	FILTRO ACEITE 9150EOD	7
DONP552071	FILTRO AGUA	4

Tabla C.15: Muestra de repuestos categorizados (Parte 2). Fuente: Elaboración Propia.

SKU	Descripción	Categoría SKU
FS1242	FILTRO SEDIMENTADOR	4
FS19684E	FILTRO COMBUSTIBLE DT466 SERIE	7
FS19593	FILTRO SEPARADOR (S3226P)	4
LF9025	FILTRO ACEITE DT-570	7
FS19532	FILTRO DESCANTADOR (R90P)	1
HD60675003	AMORTIGUADOR HAS-460 HI-TORQUE	1
DONP527683	FILTRO DE AIRE	2
WF2126	FILTRO AGUA DCA4 8UN ISX SIGNA	4
FF5052	FILTRO PETROLEO CUMMINS	1
FF5269	FILTRO COMB. DT-466-E	4
DONP553000	FILTRO DE ACEITE	4
FS1015	FILTRO SEPARADOR (UPGRADE DEL	4
DONP552100	FILTRO DE ACEITE	4
DONP551000	FILTRO COMBUSTIBLE	4
C127760	DISCO FRENO CAJA 2"	4
LF689	FILTRO DIFERENCIAL 8100-9200-9	2
FS1280	FILTRO SEDIMENTADOR	4
DONP550463	FILTRO COMBUSTIBLE	4
FLTP22	PLUMILLA 22"9200 TRANSTAR PR	1

Tabla C.16: Resultados Modelo Base (Parte 1). Fuente: Elaboración Propia

SKU	Descripción	Ubicación	Stock
LF9009	FILTRO ACEITE VENTURY SERV.EXT	R13-001-008	210
FS19684E	FILTRO COMBUSTIBLE DT466 SERIE	R13-001-009	132
FS1242	FILTRO SEDIMENTADOR	R13-001-009	156
FS19593	FILTRO SEPARADOR (S3226P)	R13-001-009	132
AF25139M	FILTRO AIRE PRIM. 9200I CANADA	R13-002-007	32
AF25997	FILTRO AIRE	R13-002-008	42
AF25707	FILTRO AIRE 4300 PRIMARIO NGV	R13-002-009	52
FS1280	FILTRO SEDIMENTADOR	R13-002-009	60
WF2126	FILTRO AGUA DCA4 8UN ISX SIGNA	R13-002-009	102
LF14000NN	FILTRO ACEITE SERV.EXT. CORTO	R13-003-007	330
DONP613336	FILTRO AIRE (PROSTAR)	R13-003-008	26
DONP552100	FILTRO DE ACEITE	R13-003-009	60
AF25732	FILTRO AIRE SEGURIDAD 4300 NGV	R13-003-009	97
LF689	FILTRO DIFERENCIAL 8100-9200-9	R13-003-009	96
LF14000NN	FILTRO ACEITE SERV.EXT. CORTO	R13-004-007	330
FS1000	FILTRO COMB.9200/9800 USA CANA	R13-004-008	480
DONP550463	FILTRO COMBUSTIBLE	R13-004-009	48
AF26211	FILTRO AIRE SECUNDARIO	R13-004-009	152
LF14000NN	FILTRO ACEITE SERV.EXT. CORTO	R13-005-007	330
DONP613336	FILTRO AIRE (PROSTAR)	R13-005-008	29
DONP552071	FILTRO AGUA	R13-005-009	336
FS1040	FILTRO COMBUSTIBLE ISX C/WIF	R13-005-009	204
FS19727	FILTRO SEPARADOR ISM	R13-005-009	210
LF3000	FILTRO ACEITE COMBO STANDARD	R13-006-005	396
FF5488	FILTRO DE COMBUSTIBLE	R13-006-005	192
DONP613336	FILTRO AIRE (PROSTAR)	R13-006-006	45
FF5052	FILTRO PETROLEO CUMMINS	R13-006-006	192
FF5269	FILTRO COMB. DT-466-E	R13-006-006	156
AF26268	FILTRO AIRE SEG. 7600	R13-007-005	72
AF25139M	FILTRO AIRE PRIM. 9200I CANADA	R13-007-006	55

Tabla C.17: Resultados Modelo Base (Parte 2). Fuente: Elaboración Propia

SKU	Descripción	Ubicación	Stock
HF35476	FILTRO HIDRAULICO DIRECCION	R13-007-006	186
FLTP22	PLUMILLA 22"9200 TRANSTAR PR	R13-007-006	100
AF25997	FILTRO AIRE	R13-008-005	72
AF25685	FILTRO AIRE 9800 ISM BRASIL	R13-008-006	44
HD60675003	AMORTIGUADOR HAS-460 HI-TORQUE	R13-008-006	21
DONP613336	FILTRO AIRE (PROSTAR)	R13-009-001	97
AF26268	FILTRO AIRE SEG. 7600	R13-009-002	147
FF42000	FILTRO PETROLEO	R13-009-004	864
FS1029W	FILTRO PETROLEO 9800 ISM BRASI	R13-009-005	714
FS1015	FILTRO SEPARADOR (UPGRADE DEL	R13-009-005	78
DONP551000	FILTRO COMBUSTIBLE	R13-009-005	108
AF26103	FILTRO AIRE	R13-010-002	84
LF3620	FILTRO DE ACEITE DETROIT	R13-010-004	300
FF2200	FILTRO COMBUSTIBLE ISX	R13-010-005	312
LF9025	FILTRO ACEITE DT-570	R13-010-005	126
FS19532	FILTRO DESCANTADOR (R90P)	R13-010-005	126
AF25707	FILTRO AIRE 4300 PRIMARIO NGV	R13-012-001	147
AF25997	FILTRO AIRE	R13-012-002	147
FS19624	FILTRO COMBUSTIBLE DAVCO 382	R13-012-003	426
WF2071	FILTRO AGUA TODAS LAS SERIES I	R13-012-004	756
CR1630	TAPA MASA	R13-012-004	123
DONP559000	FILTRO DE ACEITE (LF9001)	R13-012-005	192
LF3349	FILTRO ACEITE	R13-012-005	456
1515966C1	BUJES BARRAS	R13-012-005	55
AF25139M	FILTRO AIRE PRIM. 9200I CANADA	R13-013-001	107
AF26103	FILTRO AIRE	R13-013-002	84
LF16015	FILTRO ACEITE 9150EOD	R13-013-004	360
AF26103	FILTRO AIRE	R13-013-004	11
LF14000NN	FILTRO ACEITE SERV.EXT. CORTO	R13-013-005	312
DONP553000	FILTRO DE ACEITE	R13-013-005	78
DONP527683	FILTRO DE AIRE	R13-013-005	19
AF25685	FILTRO AIRE 9800 ISM BRASIL	R13-014-001	81
AF25997	FILTRO AIRE	R13-014-002	147
AF25707	FILTRO AIRE 4300 PRIMARIO NGV	R13-014-004	41
LF3883	FILTRO ACEITE DT466E Y 530E	R13-014-005	228
C127760	DISCO FRENO CAJA 2"	R13-014-005	400
FS1212	FILTRO DESC. 4700-4900 MEX	R13-014-005	60

Tabla C.18: Prioridades de compra y venta (Parte 1). Fuente: Elaboración Propia

SKU	Ubicación	Venta	Compra
LF14000NN	R13-005-007	0	3
LF14000NN	R13-004-007	1	2
LF14000NN	R13-003-007	2	1
LF14000NN	R13-013-005	3	0
WF2071	R13-012-004	0	0
FS1029W	R13-009-005	0	0
FS1000	R13-004-008	0	0
DONP559000	R13-012-005	0	0
AF25997	R13-008-005	0	3
AF25997	R13-002-008	1	2
AF25997	R13-012-002	2	1
AF25997	R13-014-002	3	0
FS19624	R13-012-003	0	0
FF2200	R13-010-005	0	0
LF16015	R13-013-004	0	0
AF26103	R13-013-004	0	2
AF26103	R13-013-002	1	0
AF26103	R13-010-002	2	1
LF3000	R13-006-005	0	0
AF25139M	R13-007-006	0	0
AF25139M	R13-002-007	1	1
AF25139M	R13-013-001	2	2
DONP613336	R13-006-006	0	1
DONP613336	R13-003-008	1	2
DONP613336	R13-005-008	2	3
DONP613336	R13-009-001	3	0
FF42000	R13-009-004	0	0
LF3349	R13-012-005	0	0
AF26268	R13-007-005	0	1
AF26268	R13-009-002	1	0
AF25707	R13-014-004	0	1
AF25707	R13-002-009	1	2
AF25707	R13-012-001	2	0
LF3883	R13-014-005	0	0

Tabla C.19: Prioridades de compra y venta (Parte 2). Fuente: Elaboración Propia

SKU	Ubicación	Venta	Compra
C127760	R13-014-005	0	0
HF35476	R13-007-006	0	0
LF9009	R13-001-008	0	0
DONP552071	R13-005-009	0	0
DONP550463	R13-004-009	0	0
FF5488	R13-006-005	0	0
AF25685	R13-008-006	0	1
AF25685	R13-014-001	1	0
LF3620	R13-010-004	0	0
FF5052	R13-006-006	0	0
FS1280	R13-002-009	0	0
FS19684E	R13-001-009	0	0
FF5269	R13-006-006	0	0
LF9025	R13-010-005	0	0
FS1242	R13-001-009	0	0
FS1040	R13-005-009	0	0
FS19727	R13-005-009	0	0
DONP552100	R13-003-009	0	0
WF2126	R13-002-009	0	0
FS19593	R13-001-009	0	0
AF25732	R13-003-009	0	0
FS19532	R13-010-005	0	0
CR1630	R13-012-004	0	0
HD60675003	R13-008-006	0	0
DONP553000	R13-013-005	0	0
LF689	R13-003-009	0	0
1515966C1	R13-012-005	0	0
FLTP22	R13-007-006	0	0
FS1015	R13-009-005	0	0
DONP551000	R13-009-005	0	0
AF26211	R13-004-009	0	0
DONP527683	R13-013-005	0	0
FS1212	R13-014-005	0	0

D | Resumen Resultados de Octubre

Tabla D.1: Resultados por Sección Para International. Fuente: Elaboración Propia.

International	Líneas [u]	Ítems [u]	Pedidos [u]
Despacho	3588	9449	1536
Mesón	2347	6158	1035
Taller	2049	7681	354
TOTAL	7984	23288	2925

Tabla D.2: Resultados por Sección Para Global Motor. Fuente: Elaboración Propia.

Global Motor	Líneas [u]	Ítems [u]	Pedidos [u]
Despacho	1031	1610	471
Mesón	373	462	175
Taller	322	583	109
TOTAL	1726	2655	755

Tabla D.3: Resultados por Sección Para Motor Trade. Fuente: Elaboración Propia.

Motor Trade	Líneas [u]	Ítems [u]	Pedidos [u]
Despacho	1379	2275	583
Mesón	754	979	347
Taller	159	354	67
TOTAL	2292	3608	997

Tabla D.4: Resultados por Sección General. Fuente: Elaboración Propia.

Bodega Quilicura	Líneas [u]	Ítems [u]	Pedidos [u]
Despacho	5998	13334	2590
Mesón	3474	7599	1557
Taller	2530	8618	530
TOTAL	12002	29551	4677

Tabla D.5: Resultados por Sección Empresa. Fuente: Elaboración Propia.

Empresa	Líneas [u]	Ítems [u]	Pedidos [u]
Maco Internacional	7984	23288	2925
Global Motor	1726	2655	755
Motor Trade	2292	3608	997
TOTAL	12002	29551	4677