



Trabajo de grado en modalidad de aplicación

[191035]. Propuesta asignación de posiciones y diseño de picking para la compañía Moldo.

David Felipe Gaitán Pachón ^{a,c}, Nicolás Barrios Herrera ^{a,c}, Julián Prada Serrano ^{a,c},
Juan David Carvajal ^{a,c}

Juan Carlos García Díaz ^{b,c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

^bProfesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Resumen

Proper storage management for a company that handles large volumes of inventory is vital in all of its processes, because it allows you to have up-to-date information about the products that are available in the warehouse. This project seeks to solve problems related to the inventory of the company Moldo which is dedicated to provide the service of renting tents for events. This company currently does not perform adequate control in organizing neither the tent components to rent nor in those that arrive at the warehouse.

Likewise, it is important to mention that, due to the absence of an adequate control of inventory, the company must stop operations and not receive orders during a week with the objective of carrying out an inventory count, this activity is carried out once a year. To prevent this situation, a re-distribution of positions of products in the Moldo warehouse will be carried out in order to develop a picking mathematical model that reduces the amount of missing elements in the orders, and times of preparation, dispatch and unloading of such orders. In this way, Moldo can ensure that their orders are fulfilled satisfactorily under opportunity, volumen and quality criteria.

1. Justificación y planteamiento del problema.

La compañía Alquileres y eventos Moldo es una empresa colombiana dedicada a la prestación de servicios logísticos de eventos. Dentro de sus actividades se encuentra el alquiler de carpas de diferentes referencias según las necesidades y especificaciones del cliente. Actualmente, la compañía cuenta con una instalación ubicada en el barrio Las Ferias de la ciudad de Bogotá. Hoy en día la compañía cuenta con 21 referencias divididas en carpas y pabellones, con un total de 560 complementos para sus ensambles.

Los complementos y referencias de carpas se encuentran almacenados en dos de los tres pisos de las instalaciones. (ilustración 1) Estos son tomados manualmente por el operario destinado a esta operación quien es el encargado de realizar el proceso de alistamiento de cada uno los pedidos, posterior a esto dos operarios realizan el proceso de montaje y desmontaje a los camiones que posee la compañía con el objetivo de llevar los pedidos a cada uno de sus clientes. (En el Anexo 1 se presentan los planos de estos dos pisos)

Ilustración 1. Complementos de las carpas, andamios y lonas.



Fuente. Elaboración por los autores.

La compañía ha tenido diferentes problemas en cuanto al alistamiento y recepción de productos, entre otros problemas se encuentran:

- Se han presentado faltantes en cuanto a la cantidad de complementos que necesita una referencia. Por ejemplo, el pabellón de 12x6 metros, necesita más de 200 complementos (lonas, laterales, parales, uniones y tornillos, entre otros) para su ensamblaje, lo que hace difícil recopilar estos en un tiempo razonable.
- Muchos complementos son alistados erróneamente como parte de una referencia, debido a que son muy similares a los que realmente requiere la referencia.
- En temporada de mayor demanda se incrementa la cantidad de referencias por pedido, causando que se mezclen complementos de 2 referencias en el camión que atiende el pedido.
- Cuando se hace la recepción de devolución de las referencias, el camión las descarga en un mismo sitio, teniendo como resultado una dificultad en el retorno de los productos a sus lugares de almacenamiento, debido a que no hay una categorización eficiente.

A continuación, se describirán las oportunidades de mejora que se identificaron al interior de la empresa, con base en los problemas identificados.

Primero, la categorización de las referencias de los productos no tiene un orden ni una política de inventario, ya que puede que en diferentes periodos se dediquen a organizar y clasificar por orden de mayor uso o fácil manejo. Para esto tienen que detener las operaciones y cerrar la empresa por 1 semana (G. Fuquen, comunicación personal, 6 de octubre de 2018) lo cual no asegura que se tenga una continuidad en la organización de las referencias, ya que por el volumen de pedidos se presta para volver a desorganizar el inventario.

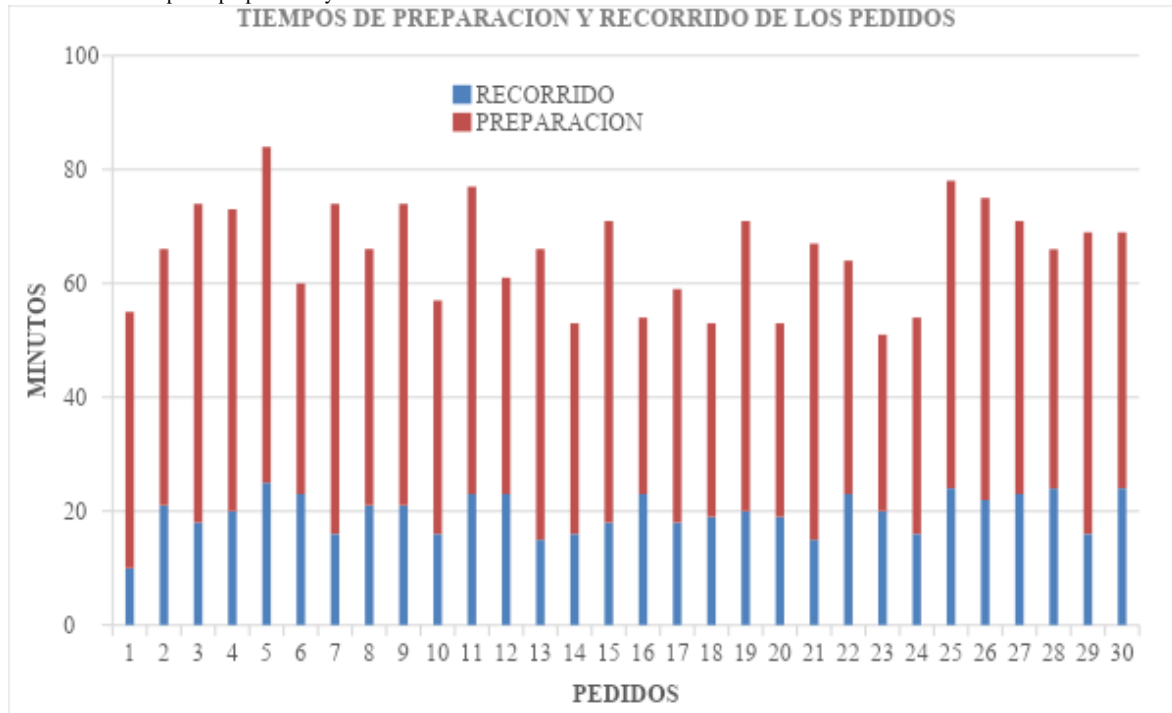
En segunda medida y como resultado de lo anterior, se identificó que hay tiempo desperdiciado en la búsqueda de los complementos para un pedido, ya que la identificación que tiene cada complemento de lonas está hecha con marcador permanente que en algunos casos la tinta está deteriorada por el uso y el lavado de las mismas lo cual dificulta su visualización.

Para verificar un complemento se tiene que desdoblar la lona y revisar la esquina para saber la descripción del complemento. Durante este proceso se demora en promedio 30 minutos en temporada alta (L. Garzón, comunicación personal, 6 de octubre de 2018), en identificar los complementos y enviarlos en el ascensor al primer piso donde se encuentran los camiones. Para soportar este análisis, se recolectaron datos de los tiempos de recorrido y preparación de pedidos durante el periodo de temporada alta. El número de pedidos en este periodo es de alrededor 800 Aclarando que el 85% de los pedidos son de carpas y pabellones.

Conjuntamente con el problema anterior, se observa que el tiempo que desempeñan los operarios excede el tiempo base para el alistamiento de pedido el cual debe ser en promedio 20 minutos (G. Fuquen, comunicación personal, 6 de octubre de 2018).

Se seleccionó una muestra de 30 pedidos, en los cuales se describe el comportamiento del tiempo de recorrido y preparación durante la temporada mencionada anteriormente (Ilustración 2).

Ilustración 2 Tiempo de preparación y recorrido durante diciembre a febrero.



Fuente. Elaboración por los autores.

Tercero, demora en el retorno de los complementos al inventario general, en la operación de identificación de los complementos dentro de la zona de descargue les toma aproximadamente de 4 a 5 días identificar de qué orden es cada complemento y volverlos a colocar en la bodega, esto se debe a que al momento de desmontar del camión se dejan sin ningún orden en una zona que no es la apropiada para recibir la mercancía de los complementos, pero que se justifica, por el constante uso de los camiones, cada vez que se descarga una cantidad de complementos inmediatamente se tiene que volver a montar otro artículo para otro cliente.

Asimismo, es necesario desarrollar un sistema de asignación de posiciones del inventario de manera dedicada, el cual consiste en asignar una posición fija a cada una de las referencias de productos y de esta manera familiarizar a los operarios y hacer más eficiente el proceso de picking.

Para llegar a la solución parcial de la problemática, se propone un sistema de asignación de posiciones de inventario y un modelo de picking que mejore el tiempo de alistamiento, de esta forma, se plantea la siguiente pregunta de la investigación, utilizando modelos matemáticos. ¿Cómo desarrollar la asignación de posiciones de la bodega en la empresa Alquileres y Eventos Moldo con el fin de diseñar un modelo de picking que reduzca el tiempo de alistamiento de pedidos?

2. Antecedentes.

Dentro de diferentes industrias se han implementado y diseñado distintas soluciones con respecto a la preparación de pedidos, esto teniendo en cuenta la ruta que se debe realizar para recoger cada uno de los productos que conforman un pedido. A partir de lo anterior, esta clase de soluciones buscan minimizar aspectos como el costo, el tiempo de alistamiento y la probabilidad de faltantes. Esta situación se asocia al problema del

agente viajero, el cual pretende determinar una secuencia a las diferentes ubicaciones que se deben visitar (Daniels, Rummel & Schantz, 1998).

Dado lo anterior y con el fin de obtener suficiente información se realizó una investigación literaria con respecto a modelos de picking, distribución de bodega y clasificación del inventario, a continuación, se presenta la información relevante encontrada.

- Distribución de bodega y clasificación de inventarios

En una empresa es necesario la implementación de la zona picking, esta tiene grandes impactos financieros en cualquier empresa que maneje grandes volúmenes de inventario y realice la preparación de pedidos, a partir de una correcta implementación pueden reducir sus costos tanto de inventario como de alistamiento de pedidos (Carrasco & Ponce, 2008). Con base en esto los departamentos que intervienen en el alistamiento de pedidos están en una constante búsqueda de un mejor aprovechamiento del espacio, por lo cual siempre se busca minimizar los costos mediante una adecuada distribución de cada uno de los SKU's que posee la compañía, para esto se usa el método de distribución de los estantes.

Para una correcta implementación de la zona de picking es importante tener en cuenta el Layout de la bodega que tiene una compañía, debido a que la preparación de los pedidos se basa en cómo está distribuida la bodega. Marmol menciona la importancia de conocer cada uno de los factores que se encuentran presentes dentro de cualquier bodega, estos factores son: los materiales, la maquinaria, movimientos, esperas, servicios auxiliares, la mano de obra, edificio y los cambios. A partir de estos factores se puede clasificar la distribución de la planta en: posiciones fijas, por proceso, por producto, o por grupos (Marmol, 2016).

El modelo de Bassan, es una metodología donde se obtiene un número óptimo de espacio y estantes de almacenamiento, buscando así la minimización de áreas y espacios requeridos para esta operación. Bassan tiene como fundamento el dimensionamiento de los artículos que se encuentran en la bodega, ya que esto determina qué tipo de estantes y qué distribución deben tener para un funcionamiento óptimo del alistamiento de pedidos. Dentro de este modelo se incluye como función objetivo la determinación del número óptimo de espacios y de estantes necesarios para el almacenamiento, buscando minimizar las áreas y espacios requeridos, así como las dimensiones óptimas del almacén en cuanto a longitud y ancho del mismo (Arango Serna, M., Zapata C, J., & Pemberthy, J. 2019). A partir del objetivo de dicha metodología, es necesario contemplar variables como el número de espacios, número de estantes, longitud y ancho entre los racks.

Las decisiones fundamentales para el alistamiento de los productos es un proceso cuyo desempeño con altos estándares de eficiencia puede ser una ventaja competitiva para las organizaciones (Diaz, & Cadena 2013). Según los autores, se plantea que la preparación de pedidos tiene tres momentos claves para su óptima preparación, los cuales son: la política de almacenamiento, las políticas de alistamiento, y el método o política de ruteo. Para estos tres puntos importantes se consideran diferentes metodologías para su desarrollo.

Para las empresas que tiene gran variedad de productos o servicios, los SKU's son agrupados mediante factores comunes. El propósito de la clasificación es determinar diferentes clases y sus características, dependiendo de las necesidades de la empresa (Kampen, Akkerman & van Donk, 2010). A partir de dicha segmentación se obtienen una serie de familias las cuales clasifican los diferentes SKU's. Para determinar los segmentos, es necesario tener en cuenta múltiples variables, tales como: el propósito, las características y el contexto de la clasificación. A partir de la definición de las variables mencionadas, se define una metodología acorde a la situación específica.

El método ABC simple determina un criterio (costo unitario, demanda anual, volumen, etc.) del cual se calcula el porcentaje de participación en los productos que se encuentran en inventario. Este método funciona para contextos de baja complejidad que son determinados por solo un criterio (Li & Moghaddam, 2016). Por consiguiente, para contextos complejos que son determinados por más de un criterio, se utilizan métodos multicriterio, los cuales permiten incluir múltiples factores para la elaboración de los SKU's. (ver Anexo 2).

Además de los métodos mencionados, para la clasificación de inventarios también se utilizan meta-heurísticas, tales como algoritmos genéticos (Yan, Yan, Long, Tan, 2018). O las redes neuronales artificiales que simulan el sistema nervioso de organismos, buscando la mejor ruta para todo contexto (Šarić, Šimunović, Pezer, Šimunović, 2014). Estos métodos permiten predecir la cantidad de familias para una mayor cantidad de contextos.

Aun así, el modelo ABC puede utilizarse en situaciones de mayor complejidad como un modelo multicriterio (Stojanović & Regodić, 2017). Como se puede observar en la implementación en el caso estudiado de una empresa dedicada a la manufactura de productos para el cuidado personal, en donde, por medio de la clasificación ABC la empresa encontró una mejora en los tiempos de picking de 104,48% (Li & Moghaddam, 2016).

Además, lo más relevante sobre el método de clasificación ABC es que, aunque este sea simple de utilizar, su flexibilidad permite utilizarlo en diferentes contextos, como en empresas de servicios que no cuentan con unidades de productos diferentes, sino diferentes tipos de servicios que permanecen constantes en el tiempo (Marcos & Pacheco, 2017).

El método AHP (Analytic Hierarchic Process) es una metodología para solucionar problemas de decisiones multicriterio teniendo en cuenta parámetros tanto cuantitativos como cualitativos, lo cual permite obtener la mejor solución dentro de un grupo de diferentes alternativas (Guijarro & Guijarro, 2019). Orjuela & Osorio, plantean una solución de localización de un centro de atención de primer nivel que pueda suplir la demanda del norte del Cauca (Colombia) ofreciendo los servicios de medicina general y odontología. Para esto se tuvieron en cuenta criterios como: inversión, personal, servicios públicos y transporte, entre otros (Orjuela & Osorio, 2008).

- Modelos de Picking.

En la literatura, existen varios enfoques para resolver el problema de picking en una situación similar a la planteada en este proyecto, algunos basados en heurísticas y otros en meta-heurísticas. Es importante mencionar que previamente al planteamiento de estos métodos de solución los autores realizaron el modelamiento matemático del problema, esto con el objetivo de tener una visión más clara y así poder entenderlo de una mejor forma.

En cuanto a heurísticas, Weidinger desarrolló una solución genérica para cualquier bodega de tipo rectangular con el objetivo de minimizar la distancia total, satisfaciendo la demanda, y considerando pasillos paralelos y transversales, con base en la heurística *Part by Part* o PBP (Felix Weidinger, 2016).

Otra solución mediante el desarrollo de heurísticas busca optimizar la ubicación de las intersecciones en bodegas donde se almacenan los productos a partir de clases (Berglund & Batta, 2011). Dicha solución realiza la recolección de los productos de manera *Picker to part*. Este caso de estudio se realizó en tres casos distintos para así poder lograr la ubicación óptima. Como conclusión, los autores mencionan que se desarrolló una solución que está diseñada para poder presentar expansiones ante las distintas políticas en la gestión del almacenamiento.

Con respecto a la utilización de meta-heurísticas, (Gómez, Espinal y Vahos, 2017) desarrollaron una meta-heurística, un algoritmo genético y una búsqueda tabú en una industria de distribución de alimentos con el fin de disminuir los tiempos de alistamiento y la cantidad de faltantes dentro de un pedido. Como resultado, se logró un incremento de 18,83% en cuanto a la eficiencia operacional mensual y una reducción de aproximadamente 3 minutos en promedio con relación al tiempo de la preparación de pedidos que se tenía anteriormente.

En la empresa Cintas & Botones en Bogotá (Colombia) se buscaba mejorar los tiempos de los pedidos, para esto se desarrolló en primera instancia un modelo COI (*Cube per Orden Index*) con el fin de mejorar la ubicación de cada uno de los SKU's. A partir de esto se desarrolló una Meta-heurísticas de búsqueda tabú, como resultado se obtuvo una reducción de distancias entre los SKU's y tiempos de búsqueda de cada uno de los pedidos.

Saner desarrolló un algoritmo genético para la compañía Ekol Logistics con el objetivo de reducir la distancia recorrida para el alistamiento de pedidos en una bodega con más de 500 SKU's, como resultado obtuvo una disminución en cuanto a la distancia recorrida para el alistamiento de cada uno de los pedidos (Saner,2017).

Los modelos dedicados a tener conocimiento sobre el desempeño, no suelen ser comunes en la mayoría de modelos. Sin embargo, estos pueden ser considerados mediante estrategias de picking. Así fue como se planteó una solución que evalúa el desempeño, el cual tiene en cuenta parámetros operacionales, como el tamaño del almacenamiento y los transportes empleados, entre otros (Sánchez y Comas, 2016). Como conclusión se puede observar que existen formas de monitorear la eficiencia de los modelos de picking.

A partir de la investigación realizada y los métodos de solución encontrados se determinó que estos servirán como guía para este proyecto debido a que se logró relacionar la bibliografía con la situación actual de la compañía. Las mayores similitudes encontradas fueron la necesidad de una clasificación de inventario, su bodega de dimensión rectangular y objetivos como disminuir los tiempos de alistamiento y la distancia recorrida. De esta manera, se tendrán en cuenta estos modelos al momento del desarrollo del método de solución y lograr el cumplimiento de los objetivos planteados.

3. Objetivos.

Objetivo General

Proponer la asignación de posiciones de las referencias y un diseño de picking para la compañía Alquileres y Eventos Moldo, de manera que se reduzca el tiempo de alistamiento de los pedidos.

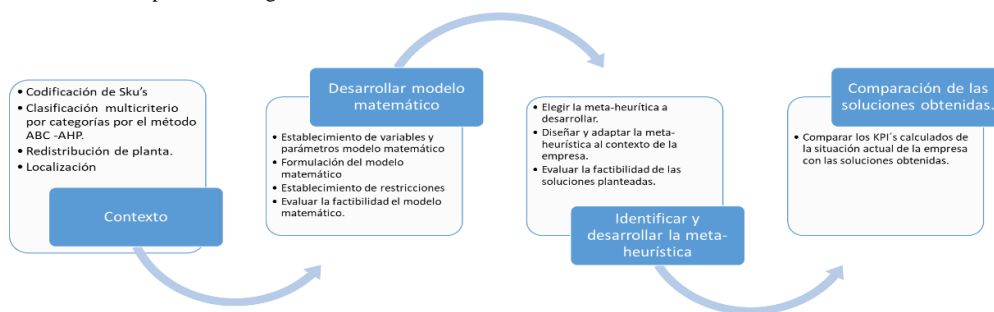
Objetivos específicos.

- Diseñar un sistema de asignación de posiciones de almacenamiento y la consecuente redistribución de la bodega según las necesidades de la empresa.
- Desarrollar un método de solución para el problema de picking de tal manera que reduzca el tiempo de preparación y atención de los pedidos, ya sea a través de un método exacto aplicado al modelo de optimización planteado o de una meta-heurística en caso de que el método exacto no genere una solución óptima al modelo en un tiempo razonable.
- Evaluar el desempeño del método de solución seleccionado contra el modelo actual de la compañía Moldo mediante los KPI's definidos

4. Metodología.

La metodología utilizada en este proyecto está definida por cada uno de los objetivos con su respectivo resultado final y el impacto generado, en la ilustración 3 se muestra la metodología con sus diferentes fases y las actividades que en general se van a llevar a cabo.

Ilustración 3. Etapas metodología.



Fuente. Elaboración por los autores.

4.1. Contexto

4.1.1. Codificación SKU's

La adecuada codificación de los SKU's en las empresas conlleva a tener un mejor control y manejo de los mismos, ya que se puede hacer un seguimiento de estos. Actualmente, la compañía no maneja un sistema de codificación para sus referencias, por esta razón se propone una codificación para cada tipo de referencia, este código sirve únicamente para poder hacer gestión y control de las referencias de manera interna en la compañía.

La estructura del código propuesto contiene el tipo de lona (Nacional (NA), Importada(IM)), el tamaño de la lona (Ej:4X4 (440000)) y los complementos (pared y techo (0001, 0002, 0003, 0004, 0005)). En el Anexo 3, se encuentra la codificación propuesta para todas las referencias de la empresa Moldo.

Con las codificaciones propuestas se planteó la clasificación por categorías ABC, la cual se hizo por referencia y no por sub referencias, ya que los complementos estarán juntos en el mismo espacio de almacenamiento.

4.1.2 Clasificación multicriterio por categorías por el método ABC - AHP

En la clasificación simple por categorías ABC, es necesario contar con información para hacer su debida categorización, generalmente el criterio que se utiliza para esta son las ventas (Li & Moghaddam, 2016). En el método multicriterio se debe tener en cuenta varios criterios, debido a que más de un factor afecta al inventario (Stojanovic´ & Regodic´, 2017). A partir de esto y la información suministrada por el supervisor de bodega, los criterios que se tuvieron en cuenta son:

- Stock: Moldo cuenta con un número fijo de referencias disponibles para alquilar.
- Costo: Se presenta como el costo de mantener el stock de la carpa, el costo de mover la carpa hasta el cliente y el costo de limpiar la carpa, todo esto en el tiempo de temporada alta.
- Ventas: Son las ventas en temporada alta.
- Peso: Es el peso de cada referencia que se tiene en la bodega.
- Tipo lona: Las lonas se dividen en Nacionales o Importadas.
- Criticidad: Se da por la experiencia del supervisor de la bodega para manejar cada tipo de referencias dependiendo de su importancia en los pedidos y en su manipulación.

Luego de escoger los criterios que afectan al inventario, es necesario contar con información histórica, como son las ventas y los costos, teniendo en cuenta que los datos históricos son en temporada alta. Para el stock y el peso se tienen unos datos fijos, el tipo de lona se determina si es nacional o importada, y la criticidad fue suministrada según los criterios del supervisor de la bodega (L. Garzón, comunicación personal, 6 de octubre de 2018). Teniendo la información de los criterios, se identifica las referencias que tienen mayor porcentaje de participación para cada criterio.

Una vez se obtiene el cálculo del porcentaje de participación de las referencias en los criterios, se calcula el indicador de jerarquía de los criterios, el cual mide la influencia de cada criterio en la clasificación del inventario. Esto se obtuvo a partir del método AHP (Analytic Hierarchy Process), el cual asigna un porcentaje de influencia a cada criterio en la toma de decisiones para la clasificación del inventario. Este método requiere que una persona con conocimiento pleno de todos los procesos de la bodega, relacione la jerarquía de cada uno de los criterios con respecto a los demás. Esta jerarquización se lleva a cabo según la escala formulada por Thomas Saaty (Guijarro & Guijarro, 2019). ver Anexo 4.

A partir de esta escala, se obtuvo una matriz con la relación entre los criterios. Posteriormente, se normaliza la matriz, para finalmente encontrar la ponderación que representa la influencia de cada criterio en la clasificación del inventario. Se calculó la relación de consistencia a partir de la matriz inicial y de la ponderación final, esto con el fin de realizar una validación acerca de la coherencia de las ponderaciones, ver Anexo 5.

Se calcula la multiplicación de las ponderaciones de los criterios con los porcentajes de participación de las referencias por criterio, para finalmente sumar los resultados de cada referencia y obtener así la clasificación multicriterio por categoría ABC- AHP. Al tener los porcentajes ponderados y sumados por cada referencia se hace la clasificación ABC por medio del método de Pareto, en donde se acumulan los porcentajes de participación ponderados en A si son inferiores al 20% en B si están entre 21% y 50% y C si son superiores al 50%.

4.1.3 Redistribución de planta

La redistribución de la planta inicialmente, analiza la totalidad de los factores que afectan al Layout de la bodega y como se afectan entre sí (Marmol, 2016). Se debe conseguir un equilibrio entre las características y consideraciones de todos los factores para que la propuesta de diseño de la distribución sea viable para la empresa. Se identificaron los siguientes factores en Moldo: materiales, maquinaria, mano de obra, movimiento, esperas, servicios auxiliares, edificación y cambios (L, Garzón, comunicación personal, 6 de octubre de 2018). Los factores se encuentran especificados en el Anexo 6.

Adicionalmente, para diseñar la distribución de planta se tuvo en cuenta los diferentes tipos de distribución que se pueden proponer. Según el ingeniero H.B Maynard hay cuatro formas de clasificar los tipos de distribución de planta por: producto, proceso, posición fija y mixta (Marmol, 2016). La descripción de estos cuatro tipos de distribución se encuentra en el Anexo 7.

Con los factores y los tipos de distribución definidos en el anexo 6 y 7 respectivamente, por medio de un cuadro comparativo, se selecciona el método que garantiza el diseño de Layout adecuado para la empresa (Domínguez Machuca [1], pág. 283). ver Anexo 8.

Analizando la información del Anexo 8, se concluye que la distribución que más se adapta para la compañía es la de planta mixta y flujo de material (movimiento) lo que da como resultado un Layout corto y sencillo. Para llevar a cabo la distribución de planta mixta se utilizó el método de células de trabajo, aplicando los siguientes pasos:

- Diseño de los procesos: Debido a que Moldo no tiene los estándares de procesos que realiza en su bodega, se plantearon estos procesos en diagramas de operaciones. Ver Anexo 9.
- Selección de los procesos: El objetivo de la selección de procesos es el de formular grupos entre estos, guiándose desde la posición de las máquinas y de las tareas de los operarios, procurando no realizar cambios en la configuración de la planta actual para evitar dificultades que se derivan de insertar demasiada variación (Marmol, 2016). De este modo se formularon los siguientes grupos de procesos:
 - Grupo 1:
 - Picking de pedidos.
 - Recepción de pedidos.
 - Ensamblaje de pedidos.
 - Revisión de inventario.
 - Grupo 2:
 - Lavado de lonas.
 - Grupo 3:
 - Negociación con clientes.
- Diseño de la infraestructura: Debe apoyar a los procesos que ejecuta Moldo, el único elemento que influye en la infraestructura es el elevador que se encuentra en la bodega.
- Diseño del Layout de la célula de trabajo: Se definieron como los grupos de los procesos formulados en la selección de procesos.

4.1.4 Localización

Para cada referencia se tiene en cuenta la distribución de la bodega propuesta y el uso de la clasificación ABC para ubicar las referencias según la categoría A, B o C. Las referencias que tienen una clasificación mayor se ubican en los estantes más cercanos al punto de entrada de la bodega y así localizándolos de menor clasificación

en los últimos estantes. De esta forma se mejoran los tiempos de búsqueda de las referencias que tienen un mayor peso para la compañía ver Anexo 10.

4.2. Desarrollo del Modelo matemático de Picking

Se define el siguiente problema de ingeniería como un modelo CVRP, donde se cuenta con una red de nodos, cada uno con un peso y volumen fijos que deben ser recorridos una sola vez. El problema cuenta con un único vehículo capaz de realizar múltiples rutas, de tal manera que se respete la capacidad en peso y volumen del vehículo. A continuación, se presenta el planteamiento matemático del problema.

4.2.1 Establecimiento de variables y parámetros del modelo matemático

Tabla 1. Conjuntos modelo matemático.

Expresión	Descripción
$N:=\{0..19\}$	posiciones de picking, donde la posición 0 y la N-esima son la zona de descargue.

Fuente: Elaboración por los autores.

Parámetros del modelo matemático:

Tabla 2. Parámetros modelo matemático.

Símbolo	Parámetro
w_n	Peso de la carga a recoger en la posición $n \in N$
v_n	Volumen de la carga a recoger en la posición $n \in N$
c_{ij}	Distancia entre la posición $i \in N$ y la posición $j \in N$
k	Cantidad máxima de rutas.
w	Capacidad en kilogramos del vehículo.
v	Capacidad en Metros cúbicos del vehículo.
n	Número de posiciones de cargue en la red, donde $n = N-1$.

Fuente: Elaboración por los autores.

4.2.2 Formulación del modelo matemático.

Con el fin de modelar el problema, se empleó la programación lineal en donde se pueden identificar las siguientes definiciones.

Tabla 3. Variables modelo matemático.

Símbolo	Variables
x_{ij}	Binaria, 1 si el vehículo se desplaza de la posición $i \in N$ a la posición $j \in N$, 0 de lo contrario.
y_i	Volumen acumulado en el vehículo hasta la posición $i \in N$.
r_i	Peso acumulado en el vehículo hasta la posición $i \in N$.

Fuente: Elaboración por los autores.

La función objetivo busca minimizar la distancia que tiene que recorrer un operario para preparar un pedido

$$\text{Minimizar distancia} = \sum_{i=0}^{n+1} \sum_{j=0}^{n+1} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeta a las siguientes restricciones:

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, n, \quad j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ih} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq h}}^{n+1} x_{hj}, \quad h = 1, \dots, n, \quad i, j \in N \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0j} \leq K \quad j \in N \quad (4)$$

$$r_j \geq r_i + v_n x_{ij} - V(1 - x_{ij}), \quad i, j \in N \quad (5)$$

$$y_j \geq y_i + w_n x_{ij} - W(1 - x_{ij}), \quad i, j \in N \quad (6)$$

$$y_i \geq w_i, \quad i \in N \quad (7)$$

$$y_i \leq W, \quad i \in N \quad (8)$$

$$r_i \leq V \quad i \in N \quad (9)$$

$$r_i \geq v_i \quad i \in N \quad (10)$$

$$r_i \geq 0 \quad i \in N \quad (11)$$

$$y_i \geq 0 \quad i \in N \quad (12)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i, j \in N \quad (13)$$

Estas restricciones buscan garantizar que: (1) Cada posición en la que cargue el operario sea recorrida exactamente una sola vez (2). En un pedido las conexiones entre las posiciones estén en una misma ruta (3). Que no se exceda el número máximo de rutas K las cuales son definidas por el operario (4). Calcular el peso acumulado del vehículo de carga cuando salga de la posición j (5). Calcular el volumen acumulado del vehículo de carga cuando salga de la posición j (6). El peso de los artículos acumulados en el vehículo de carga no exceda su capacidad en kilogramos (7,8). El volumen de los artículos acumulados en el vehículo de carga no exceda su capacidad en metros cúbicos (9,10). Las variables enteras que acumulan el peso y el volumen sean mayores a 0 (11,12). La variable binaria x_{ij} tenga valores de 0 o 1 (13).

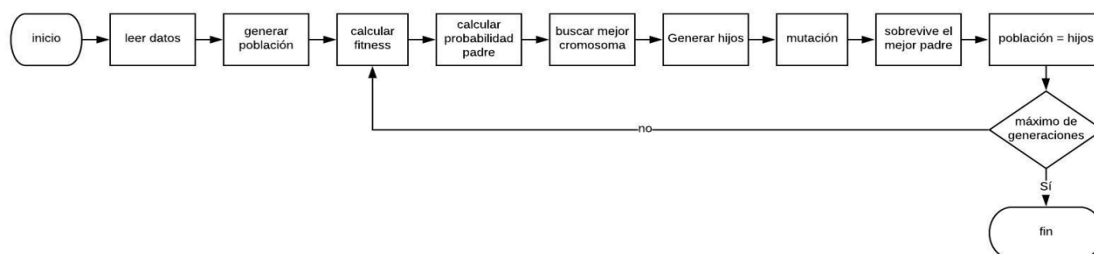
4.3 Identificación y desarrollo de la meta-heurística.

Teniendo en cuenta el modelo matemático previamente definido, la selección de la meta-heurística desarrollada se realizó mediante la investigación literaria, donde se encontró que el 66% de los autores solucionaron los problemas relacionados con el picking mediante el desarrollo de un algoritmo genético.

Se procedió con el diseño de una meta-heurística robusta que garantice la solución óptima del problema en instancias moderadas, para ello se desarrolló un algoritmo genético que incorpora los siguientes 4 métodos heurísticos, (i) Clarke and Wright, (ii) Inserción, (iii) vecino más cercano y (iv) búsqueda local. El algoritmo genético se encarga de asignar cada posición a una ruta, y una vez todas las posiciones estén asignadas a su respectiva ruta, se determina el orden en que se van a recorrer las posiciones en cada ruta utilizando los tres primeros métodos heurísticos, y el método de búsqueda local es utilizado para mejorar las soluciones encontradas por las 3 heurísticas. Finalmente, el algoritmo genético toma la mejor solución encontrada entre los 3 métodos y define cada ruta usando el mismo procedimiento.

A partir del establecimiento de los parámetros, variables, restricciones y recolección de datos, se desarrolló el algoritmo genético en la herramienta *Visual Basic For Application* de Microsoft Excel. En la ilustración 4 se presenta el desarrollo del algoritmo genético.

Ilustración 4. Algoritmo genético.



Fuente: Elaboración por los autores.

El pseudo código de la estructura principal del algoritmo genético desarrollado se presenta a continuación:

Ilustración 5. Pseudo código algoritmo genético.

```

(1) inicializar_Población
Hacer
  (2) Call calcular_fitness
  (3) Call calcular_ProbaPadre
  (4) bestcrom = elmejor(poblacion)
  (5) Call generar_hijos
  (6) Call mutacion
  (7) Call sobrevive_ElMejor
  (8) poblacion = hijos
Mientras Numero de iteraciones < Número de generaciones
  
```

Fuente: Elaboración por los autores.

A continuación, se explicarán los componentes de la ilustración

a) Inicializar población.

Con el objetivo de generar la población de cromosomas para cada pedido, es importante mencionar que cada cromosoma es un vector dado por el número de posiciones que tiene el pedido, a partir de esto se genera un número aleatorio entre 1 y el número máximo de rutas. En la tabla 4 se muestra un ejemplo de cromosoma donde el máximo de rutas es 3

Tabla 4. Cromosoma.

Posiciones	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ruta asignada	2	2	2	3	3	3	1	3	1	1

Fuente: Elaboración por los autores.

Dado el ejemplo anterior se puede ver como a cada posición se le asigna de manera aleatoria una ruta entre 1 y 3, en la tabla 5 se muestra la asignación de cada ruta a cada posición.

Tabla 5. Asignación posiciones cromosoma.

Ruta	Posiciones a visitar
1	7,9,10
2	1,2,3
3	4,5,6,8

Fuente: Elaboración por los autores.

b) Calcular función de fitness

Por medio de esta subrutina se calcula la función objetivo de cada cromosoma **de la población inicial**. Se recibe como parámetro la asignación de rutas a cada una de las posiciones definidas en el cromosoma y esta devuelve la secuencia que visita cada una de las rutas con su respectiva función objetivo final. Cabe mencionar que dentro de esta función se hace uso de 4 métodos heurísticos (*Clarke & Wright, inserción, vecino más cercano y búsqueda local*). Lo anterior con el objetivo de que los tres primeros métodos arrojen una solución la cual sea mejorada por la búsqueda local, a partir de esto se escoja la mejor y sea guardada. Es importante mencionar que las soluciones que no cumplan con las restricciones de capacidad son penalizadas en su función objetivo y de esta manera el desempeño no se verá afectado por soluciones infactibles, ver Anexo 11.

Función_Objetivo = calcularf(cromosoma)

$$Fitness = \frac{1}{Distancia\ total\ recorrida}$$

A continuación, se presentan los pseudo-códigos de cada una de las heurísticas mencionadas anteriormente.

Heurística Clarke & Wright.

En el anexo 12 se encuentra el diagrama de la heurística.

Ilustración 6. Pseudo-código. Clarke & Wright.

1) CALCULAR MATRIZ DE AHORROS
Hacer
<i>Actualizar matriz de ahorros</i>
<i>Buscar el mayor ahorro</i>
<i>Unir sub tours</i>
Mientras
<i>Haya nodos insatisfechos</i>

Fuente: elaboración por los autores

Heurística de inserción.

En el anexo 13 se encuentra el diagrama de la heurística

Ilustración 7 Pseudo-código heurística Inserción.

Hacer
<i>Buscar vecino más cercano</i>
<i>Buscar la mejor inserción</i>
<i>Asignar vecino a sub tour</i>
Mientras
<i>Haya nodos insatisfechos</i>

Fuente: Elaboración por los autores

Heurística de Vecino más cercano.

En el anexo 14 se encuentra el diagrama de la heurística

Ilustración 8 Pseudo-código Vecino más cercano

Hacer
1) <i>Buscar vecino más cercano</i>
2) <i>Asignar vecino a sub tour</i>
mientras
<i>Haya nodos insatisfechos</i>

Fuente: Elaboración por los autores

Heurística de Búsqueda local.

En el anexo 15 se encuentra el diagrama de la heurística

Ilustración 9 Pseudo-código Búsqueda local

. Mejor Solución = solución Actual
Hacer
1) Matriz soluciones
2) Elegir mejor solución
SI (solución Actual < Mejor Solucion.FO) Entonces
Mejor Solución = solución Actual
Mientras se mejore la solución

Fuente: Elaboración por los autores

c) Calcular Probabilidad Padre.

A partir de los fitness ya calculados se procede a calcular la probabilidad de ser padre para cada cromosoma i , con el siguiente procedimiento:

$$Probabilidad_padre_i = Fitness_i / \sum_{i \in I} Fitness_i$$

d) Mejor cromosoma.

Por medio de esta función se busca el cromosoma con mejor función objetivo de toda la población y se guarda en una variable.

e) Generar hijos

Para generar la población de hijos se selecciona una pareja de cromosomas de la población actual de manera aleatoria, teniendo en cuenta la probabilidad de ser padre. Posterior a esto, se realiza el cruce entre los dos padres generando el primer hijo, el cual tiene la primera mitad del padre 1 y la segunda mitad del cromosoma del padre 2, para generar el segundo hijo, se toma la primera mitad del padre 2 y la segunda mitad del cromosoma del padre 1.

f) Mutación

Para cada hijo se genera un aleatorio y si este es menor a la probabilidad de mutación, el hijo es remplazado por un nuevo cromosoma generado aleatoriamente.

g) Sobrevive El Mejor

Por medio de esta subrutina se sacrifica un hijo de la población de hijos de manera aleatoria y es remplazado por el mejor cromosoma.

h) Población = hijos

Se reemplaza la población actual con la población de hijos.

5.Componente de diseño en ingeniería.

El diseño principal de esta propuesta es una meta-heurística basada en la implementación del método de solución para realizar la preparación y alistamiento de los pedidos teniendo en cuenta el diseño de Layout propuesto.

5.1 Declaración de diseño.

La propuesta desarrollada en este proyecto se encaminó a diseñar una técnica de solución para la preparación y alistamiento de pedidos en la compañía Moldo. Para obtener este resultado, se tuvieron en cuenta variables como la demanda y la capacidad del montacargas. Por medio de los resultados se espera que la solución planteada arroje una mejora en el desempeño de las políticas a nivel operacional relacionadas con la disminución en la distancia total recorrida. Finalmente, el impacto de la propuesta fue medido y comparado con la situación actual de la empresa.

5.2 Proceso de Diseño.

Se diseñó una meta-heurística en la herramienta VBA (*Visual Basic for Applications*) de Excel para la puesta en marcha de la solución propuesta. Esta fue dividida en tres fases datos de entrada, procesamiento algoritmo genético y datos de salida para su correcta implementación.

1) Datos de entrada.

La herramienta funciona con el ingreso de un pedido, cada pedido contiene información de la referencia que pide el cliente y la cantidad del mismo. En la ilustración 10 se observa un ejemplo de cómo es un pedido para que funcione la herramienta.

Ilustración 10: Datos de entrada.

Referenci	Cantidad de carpas	id nodo	peso	volumen	POSICIÓN
2x2	10	1	50	6,4	8
2x2	5	2	25	3,2	8
3x3	10	3	90	6,4	9
3x3	5	4	45	3,2	9
4x4	10	5	130	6,4	1
4x4	5	6	65	3,2	1
4x4	5	7	65	3,2	1
5x5	5	8	75	3,2	14
6x6	10	9	180	6,4	14
7x5	5	10	90	3,2	16
8x8	10	11	200	6,4	15
6x4	10	12	150	6,4	13
6x4	5	13	75	3,2	13
16x6	10	14	100	6,4	10
16x6	10	15	100	6,4	10
10x6	10	16	220	6,4	12

Fuente. Elaboración por los autores.

Los pesos, volumen y posición en los datos de entrada están formulados para que el operario ingrese solamente la referencia y cantidad de carpas del pedido que se va a realizar, el Id nodo hace referencia a la cantidad de nodos que deben ser tenidos en cuenta por el algoritmo.

2) Procesamiento- Algoritmo genético

En esta etapa, los datos registrados son procesados mediante un botón en la hoja de resultados del Excel, este botón se muestra en la ilustración 11.

Otros parámetros necesarios para la ejecución de la meta-heurística son:

- a) Numero de posiciones (Cantidad máxima de nodos)
- b) Capacidad peso montacargas.
- c) Capacidad volumen montacargas.

3) Datos de Salida

Finalmente, se presentan los resultados mediante una hoja resumen como se muestra en la ilustración 11, en donde se puede observar la cantidad de rutas que debe realizar el operario para cumplir con el pedido. Estas rutas aparecen con el Id nodo que fue asignado en el diligenciamiento de los datos de entrada, además de esto, se muestra el peso, volumen y distancia de cada ruta, como también el valor de la función objetivo la cual hace referencia al total de la distancia recorrida.

Ilustración 11. Datos de salida.

GA	peso acumulado	420	210	65	65	495	130	275							
	volumen acumulado	19,2	19,2	3,2	3,2	19,2	6,4	9,6							
	Distancia recorrida	12	22,93	2	2	22,46	2	17,76							
Funcion Obj	81,15														
		Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3	Ruta 4	Ruta 5	Ruta 6	Ruta 7	Ruta 8	Ruta 9	Ruta 10	Ruta 11	Ruta 12	Ruta 13	
		14	1	6	7	12	5	13							
		16	3			8		11							
		15	2			10									
			4			9									

Fuente: Elaboración de los autores.

5.3 Requerimientos de desempeño.

A partir del modelo matemático desarrollado se observó que este no es eficiente ante pedidos con más de 75 cantidades de referencias ya que en un tiempo de ejecución de 7.200 segundos (2 horas) no encontró solución óptima, teniendo en cuenta esto, se desarrolló una meta-heurística que pudiera hallar una solución en un tiempo adecuado para el usuario, estas soluciones son halladas después de haber realizado 5.000 iteraciones por pedido

lo que equivale a un tiempo de 10 minutos aproximadamente, este tiempo de ejecución se encontró a partir de las pruebas de rendimiento.

5.4 Pruebas de rendimiento

Con el objetivo de medir la confiabilidad y rendimiento del algoritmo genético fue necesario realizar cinco pruebas de comparación con instancias adaptadas para garantizar que la solución diseñada cumpla con los requerimientos de desempeño deseados. Dichas instancias fueron solucionadas por medio del modelo matemático y de esta forma poder evaluar el desempeño del algoritmo genético. Además, se planteó la solución para seis instancias reales ejecutando el modelo matemático durante 7.200 segundos, para asegurar que el algoritmo hallara mejores o iguales soluciones que el modelo matemático.

5.5 Restricciones

Las restricciones para que el diseño sea aplicado exitosamente son:

- Para que el tiempo de ejecución no sea mayor al planteado, es necesario contar con un equipo con un procesador mayor o comparable con CORE i7 8500Y con 2 núcleos y una memoria RAM de 8GB.
- El flujo de información entre los distintos departamentos de la compañía debe ser adecuado ya que un cambio en el pedido alterará los resultados de la solución diseñada.

6. Resultados

6.1 Resultados clasificación, distribución y localización de inventario.

Para poder llegar a los resultados de la clasificación de inventarios es necesario primero tener la matriz de ponderaciones AHP para que con esto se puede tener una clasificación más amplia y certera de las referencias, con esto se obtuvo la matriz que se muestra en la ilustración 12.

Ilustración 12: Matriz ponderación AHP.

Criterios	Ponderacion
Stock	10%
Costo total	31%
Alquiladas	35%
Peso Unit	6%
Tipo lona alquiladas	7%
Criticidad	11%
Total	100%

Fuente. Elaboración por los autores.

La clasificación ABC multicriterio se da gracias a la multiplicación de la ponderación de AHP con el porcentaje de participación de cada criterio según el total de los mismos. Luego se calcula la sumatoria de cada referencia por cada uno de los criterios ordenando de mayor a menor, para después clasificarlos en A, B o C dependiendo del rango en el que se encuentren (menor a 20% A, entre 21% y 50% B, mayor de 50% C), según lo anterior en la ilustración 13 se muestra este procedimiento con los resultados de la clasificación.

Ilustración 13: Clasificación ABC-AHP.

Referencias	Stock	Costo	Ventas	Peso	Tipo lona	Criticidad	%	Pareto	Clasificación
4x4	3.07%	9.74%	1.05%	0.10%	0.15%	1.01%	15.12%	15.12%	A
21x40	0.42%	1.34%	5.89%	1.44%	1.47%	0.97%	11.52%	26.64%	B
25x40	0.42%	1.34%	5.48%	1.62%	1.47%	0.97%	11.30%	37.93%	B
2x2	0.79%	2.50%	1.48%	0.04%	0.15%	0.81%	5.77%	43.71%	B
3x3	0.79%	2.50%	0.87%	0.07%	0.15%	0.81%	5.19%	48.89%	B
16x6	0.79%	2.50%	0.38%	0.08%	0.15%	0.81%	4.71%	53.60%	C
6x12	0.25%	0.78%	2.34%	0.27%	0.21%	0.28%	4.13%	57.73%	C
10x6	0.49%	1.56%	0.98%	0.24%	0.21%	0.56%	4.04%	61.77%	C
12x6	0.37%	1.17%	1.45%	0.27%	0.43%	0.28%	3.96%	65.73%	C
4 x4	0.44%	1.39%	1.03%	0.11%	0.31%	0.60%	3.88%	69.61%	C
20x30	0.12%	0.39%	2.28%	0.32%	0.43%	0.28%	3.83%	73.44%	C
6x4	0.26%	0.83%	1.64%	0.12%	0.15%	0.40%	3.41%	76.85%	C
5x5	0.26%	0.83%	1.49%	0.12%	0.15%	0.40%	3.26%	80.11%	C
6x 6	0.18%	0.56%	1.88%	0.15%	0.15%	0.20%	3.11%	83.22%	C
12x5	0.12%	0.39%	1.51%	0.25%	0.43%	0.28%	2.98%	86.20%	C
6x6	0.18%	0.56%	1.74%	0.14%	0.15%	0.20%	2.97%	89.17%	C
8x8	0.18%	0.56%	1.14%	0.15%	0.15%	0.20%	2.38%	91.55%	C
6X3	0.26%	0.83%	0.31%	0.05%	0.31%	0.60%	2.37%	93.92%	C
7x5	0.18%	0.56%	1.05%	0.14%	0.15%	0.20%	2.28%	96.20%	C
5x2,60	0.09%	0.28%	1.13%	0.13%	0.15%	0.20%	1.98%	98.18%	C
8X3	0.18%	0.56%	0.12%	0.06%	0.31%	0.60%	1.82%	100.00%	C

Fuente. Elaboración por los autores.

Posterior a encontrar la clasificación ABC, se diseñó la distribución de planta propuesta, la cual se encuentra en el Anexo 16.

La localización dentro de la distribución de planta propuesta, se hace teniendo en cuenta el volumen y stock de las referencias para saber cuántas de estas caben en el espacio de los estantes, obteniendo de esta forma la cantidad de espacios que necesita cada referencia. Después de esto es necesario organizar las referencias según la clasificación ABC desde el estante más cercano a la entrada de la bodega las cuales corresponderían a las referencias con clasificación A y las más lejanas que serán las clasificadas como C. Ver Anexo 10.

6.2 Resultados de pruebas de rendimiento

En cuanto a las pruebas de rendimiento realizadas con respecto al modelo matemático, se obtuvieron los siguientes resultados.

Por medio de la comparación de cinco pruebas realizadas utilizando instancias adaptadas se determinó que el 80% lograban obtener la misma solución del modelo matemático. Por otro lado, el 20% estuvo alejado de la solución del modelo matemático en un 15,67%. Tabla 6 poner tiempo del genético.

Tabla 6 resultados de pruebas con instancias adaptadas.

Pedido	Cantidad de referencias	Numero de posiciones	Tiempo ejecución modelo matemático Seg	Modelo matemático	Optimo	Genético	Generación donde se encontró solución	% diferencia óptimo vs A. genético
1	55	3	0.466	33,97	33,97	33,97	1	0%
2	60	4	0.389	52,79	52,79	52,79	1	0%
3	65	9	22.00	70,02	70,02	70,02	9	0%
4	70	10	51.428	52,79	52,79	52,79	9	0%
5	75	12	7200	58,02	Optimo no hallada	48,93	251	15,67%

Fuente: Elaboración de los autores.

Adicionalmente, con respecto a las soluciones obtenidas mediante las pruebas con 6 instancias reales en comparación al modelo matemático. Tabla 7, el 100% de los resultados alcanzados por medio del algoritmo

genético lograron obtener en promedio un 14,15% de mejora con respecto al modelo matemático el cual fue ejecutado durante 7.200 segundos, en donde ninguna de las instancias logró alcanzar la solución óptima, por lo cual se presentan resultados del método de solución propuesto capaces de superar la calidad de dichas soluciones.

Tabla 7 resultados de pruebas con instancias reales

Pedido	Cantidad de referencias	Número de posiciones	Modelo matemático	Tiempo ejecución modelo matemático (seg)	Genético	Generación donde se encontró la solución	% diferencia óptimo vs A. genético
1	80	11	75,42	7200	66,33	72	12,05%
2	90	12	75,78	7200	66,69	88	12,00%
3	95	13	76,14	7200	67,05	853	11,94%
4	105	14	84,4	7200	67,5	1760	20,02%
5	115	15	90,39	7200	75,05	3849	16,97%
6	125	16	92,14	7200	81,15	1464	11,93%

Fuente: Elaboración de los autores.

Como resultado del análisis desarrollado anteriormente, es posible evidenciar que el método de solución propuesto logra alcanzar resultados óptimos gracias a la comparación realizada respecto al modelo matemático y adicionalmente arroja soluciones que pueden garantizar su factibilidad.

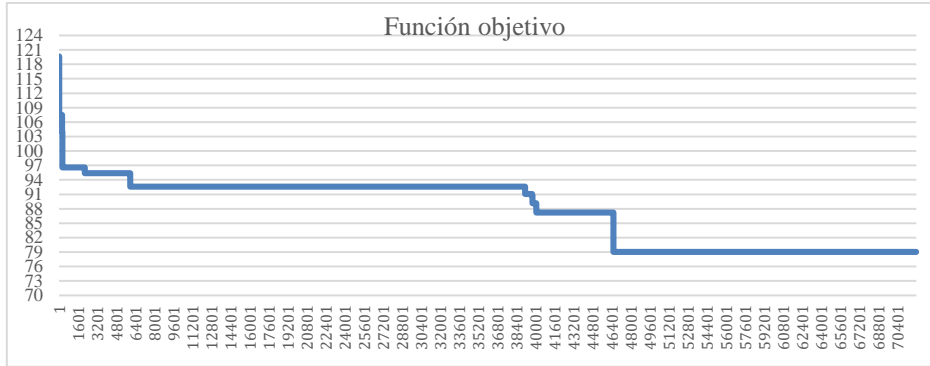
6.3 Resultados Parametrización.

Con el fin de obtener unos parámetros estables (Población, número de generaciones, probabilidad de mutación y número de rutas) se realizaron una serie de pruebas, las cuales consistían en tomar un pedido normal de la empresa y comenzar a variar cada uno de los parámetros. A partir de esta variación en los parámetros se buscaba obtener una gráfica en la cual se pudiera observar el comportamiento de la función objetivo con cada una de las variaciones realizadas, es importante mencionar que estas pruebas no se realizaron consecutivamente de acuerdo a los resultados obtenidos previamente de cada parametro, sino que se realizó una variación de los parametros que no eran fijos, esto con el fin de no limitar ningún resultado de la función objetivo de la parametrización.

6.3.1 Número de generaciones.

En la ilustración 14 se aprecia el comportamiento de la función objetivo de acuerdo a la cantidad de iteraciones que se deseen generar, para este caso, a partir de la iteración 47.000 la función objetivo tiene un valor de 79,05 metros recorridos y no tiene ninguna variación hasta el máximo de iteraciones que se realizaron (72.000). Es importante señalar que se determinó que el número de iteraciones a utilizar para cualquier pedido que tenga la compañía, es de 5.000 ya que tiene una función objetivo de 95,4 lo que corresponde a una diferencia de 21% en cuanto a la cantidad de metros recorridos.

Ilustración 14 Función objetivo vs iteraciones.



Fuente: Elaboración de los autores.

- **Número de la Población.**

En el Anexo 17, se encuentra la gráfica de la población donde se observa la función objetivo obtenida realizando variaciones de acuerdo a la cantidad de la población. A partir de esta grafica se tomó la decisión de tomar como parámetro del tamaño de población 500 ya que fue la mejor función objetivo con un valor de 81,3

- **Probabilidad de mutación.**

En el Anexo 18 se observa el comportamiento de la función objetivo de acuerdo a la variación de la probabilidad de mutación, a partir de esto se tomó la decisión de tomar como parámetro 10% como probabilidad de mutación ya que tuvo una función objetivo igual a 79,05

- **Número de rutas.**

En el Anexo 19 se observa el comportamiento de la función objetivo según una variación en el número de rutas para un pedido específico, a partir de esto se tomó la decisión de que el número de rutas sea igual a la cantidad de nodos a visitar, esto con el fin de garantizar que el operario realice todo el pedido de una sola vez y no tenga que cambiar el número de rutas en caso de que el algoritmo genético no genere una solución factible debido a que el número de rutas que haya puesto el usuario como parametro sea pequeño en comparación a número de nodos a visitar, además de esto, debido a la variación de los pedidos la cantidad de nodos a visitar va a cambiar, es por esto que si se asigna un rango de rutas como parametro puede causar que el operario cometa algún error y el algoritmo no arroje una buena solución.

6.4. Resultados de la técnica de solución diseñada.

Con el fin de tener una comparación con la situación actual y la propuesta, se decidió realizar unas pruebas con la meta-heurística teniendo las distancias y distribuciones tanto propuestas como actuales, evidenciada en la tabla 8, esto con el fin de garantizar que la solución propuesta sea mejor que la actual, además, de resaltar la importancia de la redistribución de planta y de localización de las referencias para la mejora de la solución.

Tabla 8 Prueba meta-heurística

prueba meta-heurística		
Pedido	Distancia Propuesto (M)	Distancia Actual (M)
1	81,85	112,934
2	143,72	192,2128
3	65,49	90,0476
4	139,5	189,615
5	71,03	98,0372
6	77,32	107,4268
7	118,86	158,0464
8	114,49	155,2276
9	76,48	111,4752
10	117,14	163,3336
11	102,68	138,6552
12	112,12	147,5488
13	89,69	126,8756
14	114,68	150,4032
15	113,11	144,2274
16	119,01	157,8279
17	107,78	150,0372
18	126,5	166,99
19	82,62	116,3588
20	90,02	129,7398

Elaboración autores.

Para obtener una solución en la meta-heurística de la distribución actual se tomó como base una situación puntual de la compañía, ya que actualmente no se cuenta con una localización de referencias fija, si no con una localización de referencias según orden de llegada y disponibilidad de espacio en los racks, por lo cual existe una variación. Además, se evidencia una disminución del total de distancia a recorrer por pedido, de esta manera se evidencia la eficiencia de la distribución de planta propuesta.

Con el fin de conocer el impacto obtenido por medio del método de solución diseñado, se realizaron pruebas con 20 pedidos, comparando los resultados en cuanto a distancia, tiempo de alistamiento, tiempo de recorrido y cantidad de carpas procesadas por el operario, respecto a las condiciones actuales.

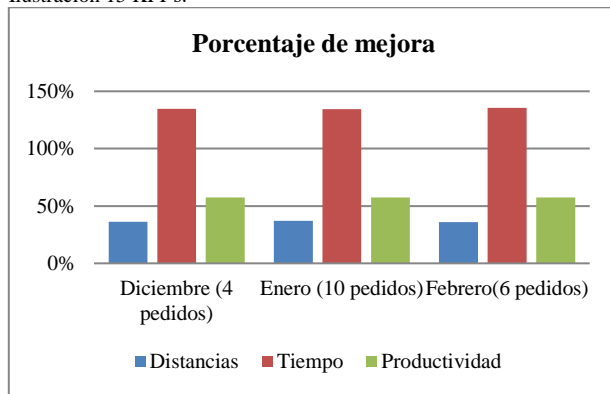
Tabla 9 KPI's.

Fechas	Pedido	Distancias				Tiempo					Productividad				
		# Carpas por pedido	Distancia Propuesto (M)	Distancia Actual (M)	Mejora %	Tiempo alistamiento Propuesto (Min)	Tiempo alistamiento Actual (min)	Tiempo recorrido Propuesto (Min)	Tiempo recorrido Actual (Min)	Mejora %	Carpas por minuto Propuesto	Carpas por minuto Actual	Mejora %		
11/12/2018	1	16	81.85	112.934	38%	8.00	19.48	8.98	20.83	132%	1.78	0.77	57%		
11/12/2018	2	33	143.72	192.213	34%	16.50	40.17	18.22	42.48	133%	1.81	0.78	57%		
20/12/2018	3	26	65.49	90.0476	37%	13.00	31.65	13.79	32.73	137%	1.89	0.79	58%		
20/12/2018	4	49	139.5	189.615	36%	24.50	59.65	26.17	61.93	137%	1.87	0.79	58%		
10/1/2019	5	26	71.03	98.0372	38%	13.00	31.65	13.85	32.83	137%	1.88	0.79	58%		
10/1/2019	6	14	77.32	107.427	39%	7.00	17.04	7.93	18.33	131%	1.77	0.76	57%		
10/1/2019	7	18	118.86	158.046	33%	9.00	21.91	10.43	23.81	128%	1.73	0.76	56%		
13/1/2019	8	35	114.49	155.228	36%	17.50	42.61	18.87	44.47	136%	1.85	0.79	58%		
13/1/2019	9	28	76.48	111.475	46%	14.00	34.09	14.92	35.42	137%	1.88	0.79	58%		
17/1/2019	10	32	117.14	163.334	39%	16.00	38.96	17.41	40.92	135%	1.84	0.78	57%		
17/1/2019	11	35	102.68	138.655	35%	17.50	42.61	18.73	44.27	136%	1.87	0.79	58%		
25/1/2019	12	41	112.12	147.549	32%	20.50	49.91	21.85	51.68	137%	1.88	0.79	58%		
25/1/2019	13	25	89.69	126.876	41%	12.50	30.44	13.58	31.96	135%	1.84	0.78	58%		
25/1/2019	14	22	114.68	150.403	31%	11.00	26.78	12.38	28.59	131%	1.78	0.77	57%		
9/2/2019	15	40	113.11	144.227	28%	20.00	48.70	21.36	50.43	136%	1.87	0.79	58%		
9/2/2019	16	32	119.01	157.828	33%	16.00	38.96	17.43	40.85	134%	1.84	0.78	57%		
16/2/2019	17	37	107.78	150.037	39%	18.50	45.04	19.79	46.84	137%	1.87	0.79	58%		
16/2/2019	18	28	126.5	166.99	32%	14.00	34.09	15.52	36.09	133%	1.80	0.78	57%		
23/2/2019	19	23	82.62	116.359	41%	11.50	28.00	12.49	29.40	135%	1.84	0.78	58%		
23/2/2019	20	34	90.02	129.74	44%	17.00	41.39	18.08	42.95	138%	1.88	0.79	58%		
Total promedio					37%	Total promedio					135%	Total promedio			57%

Fuente: Elaboración de los autores.

De acuerdo a la tabla 9 el porcentaje promedio de mejora en las distancias es del 37%. Adicionalmente el tiempo de recorrido y alistamiento de pedido mejoro en promedio un 135%, esto gracias a que en el modelo propuesto no cuenta con tiempo de inspección de carpa, el cual toma en promedio 38 minutos actualmente. Además, se vio reflejada una mejora del 57% de productividad del operario, esta se mide por la cantidad de carpas que puede alistar en un periodo de tiempo en este caso se determina en minutos.

Ilustración 15 KPI's.



Fuente: Elaboración de los autores.

En la ilustración 15 se observa el porcentaje de mejora de los KPI's por mes. Cabe resaltar que estos meses son los de temporada alta, por lo anterior se puede analizar que mes a mes no cambian mucho las mejoras, lo cual evidencia un impacto constante en los meses de temporada alta.

6.5. Medición del Impacto

En cuanto al impacto generado por la implementación de la meta- heurística propuesta se pueden considerar los siguientes aspectos:

Al disminuir las distancias de recorrido se influye en el impacto negativo de preparación de pedidos, esto disminuye el tiempo de espera de los clientes, y por lo tanto se incurre en el cumplimiento de entrega de los pedidos lo cual da como resultado una buena experiencia de los clientes con el servicio presentado por Moldo.

Al llevar a cabo la redistribución de planta y la clasificación de inventario, se incurre en la mejora del espacio en la bodega, ayudando de esta forma a los operarios de tal forma que no tengan que hacer esfuerzos innecesarios. Esto se debe a que, con el espacio propuesto, los movimientos de los operarios no se verán entorpecidos por las dimensiones de la bodega ni por la distribución de los estantes.

Gracias a que la meta-heurística cuenta con una funcionalidad que genera los resultados de manera rápida y eficaz, el operario de la bodega únicamente tendrá que seguir las rutas halladas por la meta-heurística y no gastará tiempo innecesario en una ruta que no es adecuada.

7. Conclusiones y recomendaciones.

El presente trabajo propone el diseño de una técnica de solución integrada para la programación de las rutas de los pedidos solicitados por los clientes de la empresa de Alquileres y Eventos Moldo. El interrogante surgió luego de identificar las tres principales problemáticas que se presentan frecuentemente en la organización: demoras durante el tiempo de alistamiento y recorrido de pedidos, clasificación de las referencias y localización de referencias, las cuales conllevan al incumplimiento de entrega de pedidos a los clientes en temporada alta y que el operario destine más tiempo del requerido en diferentes operaciones.

La distribución de planta propuesta tiene en cuenta el contexto actual y futuro de la empresa, por lo cual puede entrar a hacer modificaciones dependiendo del planteamiento a largo plazo que se le quiera dar a la empresa, esto gracias a la flexibilidad del diseño de planta. La codificación y clasificación de inventarios tienen una gran versatilidad a la hora de agregar muchas más referencias, lo cual permite el planteamiento de crecimiento de los servicios prestados por Moldo.

Teniendo en cuenta la complejidad de la problemática se decidió abordar el problema por medio de la meta-heurística para poder elaborar la técnica de solución, con esto se empleó un algoritmo genético con el fin de obtener soluciones que cumplan con las restricciones y requerimientos propios de la empresa, además, de ser soluciones confiables. En este sentido se evaluó el desempeño del modelo matemático con el algoritmo genético, lo que dio como resultado que en un 80% de soluciones óptimas con instancias adaptadas, el algoritmo genético encontró el mismo resultado.

Posteriormente se comparó la técnica de solución propuesta con la política actual de la empresa. Debido a que con la técnica de solución es posible alcanzar el tiempo de alistamiento y recorrido de los pedidos en un tiempo menor a 20 minutos el cual está estipulado por el gerente de la empresa. Con lo anterior se garantiza la satisfacción de los directivos de la compañía teniendo una bodega que cumple tanto en temporada baja como en temporada alta.

Se recomienda que con base en la propuesta realizada, se desarrolle un estudio de las implicaciones ergonómicas que puede llegar a tener el operario ya que el montacargas no puede hacer movimientos verticales para recoger las lonas, dependiendo la altura, el operario manualmente tiene que bajar la lona del rack y ubicarlo en el montacargas.

En cuanto a las recomendaciones que se consideran pertinentes para la implementación adecuada de la propuesta realizada y en general para el buen funcionamiento de los procesos de la compañía se encuentran:

- Implementar un sistema de recolección de información, con el objetivo de garantizar la trazabilidad de la información, necesaria para la elaboración de rutas de los pedidos para los clientes.
- Realizar capacitaciones a los empleados con respecto a los cambios realizados en el proceso, esto para obtener el mayor beneficio de las implementaciones realizadas a la empresa.

- Realizar un control dedicado a los alistamientos de pedidos para identificar los errores humanos que se puedan dar en el proceso.

Glosario

Inventario: Es una relación de los bienes de que se disponen, clasificados según familias, categorías y lugar de ocupación.

Almacenaje: Todas las acciones relacionadas con la recepción, almacenamiento, tratamiento y entrega de mercancías en un almacén.

Sistema picking: El hecho de ir a una estantería o zona concreta dentro del área de almacenaje para recoger las mercancías requerida por un determinado pedido

Almacenamiento dedicado: hace relación a la forma de asignación de posición de cada uno de los productos dentro de la bodega, dicha disposición asigna una posición fija para cada producto.

Clasificación ABC: Es un sistema de clasificación, el cual realiza la asignación de posiciones dentro de un almacén en función del costo unitario y el consumo anual de cada ítem (Girón, López, Sornoza, Campuzano, 2017)

KPI: De sus siglas en inglés (key performance indicator) son métricas que ayudan a identificar el rendimiento de una determinada acción (Espinosa, 2016)

Meta-heurística: Estrategias inteligentes que permiten diseñar y mejorar procedimientos heurísticos muy generales con un alto rendimiento (Moreno, 2004).

Heurística: Trata de la resolución de problemas aplicando soluciones parciales, a menudo intuitivas. Se evalúan los resultados intermedios obtenidos para aproximarse poco a poco al resultado o solución final. Algunas de las estrategias de solución de problemas consisten en: organizar, experimentar, explorar, introducir elementos auxiliares, dividir el problema, buscar regularidades y suponer el problema resuelto (Molero & Salvador, 2016).

Ruteo: Conocido también como enrutamiento, consiste en determinar un conjunto de rutas al costo mínimo o la menor distancia posible en una red de nodos conectados (Carrasco & Ponce, 2018).

AHP: Conocido en español como proceso de análisis jerárquico busca darle un porcentaje de ponderación a los criterios de clasificación de inventario ya sean cualitativos o cuantitativos. (Díaz & Cadena, 2014).

CVRP: Hace referencia a los problemas de enrutamiento de vehículos.

5. Referencias.

Arboleda, J. and Castilla, J. (2016). modelo integrado de clasificación abcmulticriterio, aplicado en el área de picking de un centro de distribución DE REPUESTOS. Available at: <https://revistas.upb.edu.co/index.php/RICE/article/viewFile/7092/6484>

Agüero Zardón, Urquiola García y Martínez Delgado (2016). Propuesta de procedimiento para la gestión de inventarios. La Habana- Cuba. disponible en: <http://www.cyta.com.ar/ta1502/v15n2a2.htm>

Arango Serna, M., Zapata C, J., & Pemberthy, J. (2019). Layout Restructuration of the Picking Area in an Industrialwarehouse. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932010000200007

Apsalons, R. and Gromov, G. (2017). Methodology of Evaluation of the Impact of Picking Area Location on the Total Costs of Warehouse. Transport and Telecommunication Journal, 18(4), 332-344.

Asencio Baixauli, Fernando. (2009). Gestión y simulación de un centro logístico aeronáutico. Sevilla - España: Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4642/fichero/Tomo+I.+Introduccion+y+antecedentes%252FCapitulo+2.Gestion+del+almacen.pdf>

Belo-Filho, M., Amorim, P., & Almada-Lobo, B. (2015). An adaptive large neighbourhood search for the operational integrated production and distribution problem of perishable products. *International Journal of Production Research*, 53(20), 6040-6058. doi:10.1080/00207543.2015.1010744

Berglund & Batta. (2011). Optimal placement of warehouse cross-aisles in a picker-to-part warehouse with class-based storage. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0740817X.2011.578608>

Carrasco & Ponce. (2008) Mejora de la eficiencia de una central logística mediante el rediseño del reaprovisionamiento de la zona de picking Improving the efficiency of a logistics center by redesigning piece picking área replenishment. Disponible en: <https://www.revistadyo.com/index.php/dyo/article/view/73/73>

Díaz Bohórquez, c., & Cadena Hernández, j. (2013). decisiones fundamentales para estudiar el proceso de alistamiento de pedidos: revisión de literatura disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistagti/article/view/3842/4197>

Diaz R, Marcos R, Pacheco D, (2017). Management services: Implications of ABC in prioritization of customer service, disponible en : <http://www.revistaespacios.com/a17v38n42/a17v38n42p16.pdf>

Dicle, Mehmet F. and Levendis, John, Importing Financial Data (September 15, 2011). *Stata Journal*, Vol. 11, No. 4, pp. 620-626, 2011. disponible en SSRN: <https://ssrn.com/abstract=1927952>

Espinosa, (2016) Indicadores de gestión ¿qué es un kpi? Disponible en: <https://robertoepinosa.es/2016/09/08/indicadores-de-gestion-que-es-kpi/>

Garrido, Cejas (2017). La gestión de inventario como factor estratégico en la administración de empresas. revista *Negotium*. disponible en: <http://www.redalyc.org/html/782/78252811007/>

Guijarro & Guijarro. valoración multicriterio de empresas: una aplicación al sector bodeguero español. Disponible en <https://www.revistadyo.com/index.php/dyo/article/view/32>

Girón, López, Sornoza, Campuzano (2017). El lote económico de compras como sistema de administración de inventarios. Disponible en: <file:///C:/Users/svirtualp01/204-215-1-PB.pdf>

Marmol.(2016) Diseño de layout de planta de recuperación de piezas y montaje de turbo alimentadores Disponible en: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/4939/PI%20-%20Dise%C3%B1o%20de%20Layout%20-%20Agustin%20Marmol%20-%20Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Moreno, J. A. (2004). Meta-heurísticas:Concepto y propiedades. Obtenido de <http://www.tebadm.ulpgc.es/almacen/seminarios/MH%20Las%20Palmas%202.pdf>

Prada Rey, Sergio Andrés y Ríos Rincón, Andres Bernardo (2013). Propuesta de mejoramiento para la operación de picking en la empresa Cintas & Botones. Bogotá – Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Disponible en:<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/10312/PradaReySergioAndres2013.pdf?sequence=1>

R. A. Gómez Montoya - A. A. Correa Espinal - J. D. Hernández Vahos. (2017). Modelo de centro de distribución verde: amigabilidad con el medio ambiente y eficiencia operacional usando un enfoque de procesos y un metaheurístico de búsqueda tabú. Colombia: Universidad de Medellín. Disponible en:<http://web.b.ebscohost.com.ezproxy.javeriana.edu.co:2048/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=c2dbc989-2bee-42a2-b234-b4b51abea93b%40sessionmgr101>

Sabino Araujo, Victor Francisco. (2016). aplicaciones del qr code en el contexto de la producción, logística y consumo: el caso tesco homeplus de supermercados virtuales. João pessoa - brasil: xxxvi encontro nacional de engenharia de produção. Disponible en: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_233_359_30834.pdf

Sánchez Comas, Andrés (2016). Modelos de picking, routing, layout y slotting en la Gestión de Almacenes – una Revisión Sistemática de la Literatura. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/301282660_Modelos_de_Picking_Routing_Layout_y_Slotting_en_la_Gestion_de_Almacenes_-_una_Revision_Sistemica_de_la_Literatura_Picking_Routing_Layout_and_Slotting_Models_in_Warehouse_Management_-_A_Systematic_Revi

Van Kampen, T., Akkerman, R., & Pieter van Donk, D. (2012). SKU classification: a literature review and conceptual framework. International Journal Of Operations & Production Management

Li J, Moghaddam M, Nof S, (2016). Dynamic storage assignment with product affinity and ABC classification—a case study

Stojanovic´ M, Regodic´ D, (2017). The significance of the integrated multicriteria ABC-XYZ method for the inventory management process

Šarić, T., Šimunović, K., Pezer, D., Šimunović, G. (2014). Inventory classification using multi – criteria abc analysis, Neural networks and cluster analysis

Yan, B., Yan, C., Long, F., Tan, X.-C. (2018). Multi-objective optimization of electronic product goods location assignment in stereoscopic warehouse based on adaptive genetic algorithm