

**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA RECOLECCION PEDIDOS POR
MEDIO DE MÉTODOS HEURÍSTICOS EN UN ALMACÉN DE REPUESTOS DE
UNA EMPRESA AGROINDUSTRIAL EN EL NORTE DEL VALLE DEL CAUCA.**

CRISTIAN MAURICIO VALLECILLA ARCO

ANDRÉS CAMILO TORRES MENESES



UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA INDUSTRIAL (3751)

ZARZAL - VALLE

2017

**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA RECOLECCION PEDIDOS POR
MEDIO DE MÉTODOS HEURÍSTICOS EN UN ALMACÉN DE REPUESTOS DE
UNA EMPRESA AGROINDUSTRIAL EN EL NORTE DEL VALLE DEL CAUCA.**

CRISTIAN MAURICIO VALLECILLA ARCO

ANDRÉS CAMILO TORRES MENESES



TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL

DIRECTOR

M.Sc. MAURICIO BUITRAGO SOTO

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA INDUSTRIAL (3751)

ZARZAL - VALLE

2017

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado en primer lugar a Dios por darnos la vida para poder cumplir esta meta, a nuestras familias por ser el motor principal que nos impulsó en cada paso recorrido y a cada persona importante para nosotros que están presentes en nuestros momentos buenos y malos.

Andrés Camilo Torres Meneses

Cristian Mauricio Vallecilla Arco

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los profesores que hicieron parte de nuestro proceso, que nos formaron como profesionales y personas de bien, por brindarnos no solo conocimiento si no también la experiencia para poder utilizarlos, especialmente a Carlos Alberto Rojas por ayudarnos a seguir adelante en el momento más difícil del proceso; también agradecemos a nuestros compañeros y amigos por recorrer este camino a nuestro lado como apoyo para seguir en momentos difíciles y celebrar victorias y para finalizar queremos agradecer a la empresa por la darnos la oportunidad de desarrollar nuestro trabajo de grado y el almacenista encargado por su disponibilidad ante nuestras dudas.

Andrés Camilo Torres Meneses

Cristian Mauricio Vallecilla Arco

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Zarzal, Valle del cauca 9 junio del 2017

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	10
2. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
2.1. Recepción.....	14
2.2. Almacenamiento y ubicación	14
2.3. Búsqueda.....	15
2.4. Recolección	15
2.5. Entrega o despachos.....	16
3. OBJETIVO GENERAL.....	18
3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
4. JUSTIFICACIÓN	19
5. MARCO CONCEPTUAL.....	21
6. ESTADO DEL ARTE	24
7. IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES RELEVANTES	30
7.1. Descripción del almacén.....	30
7.1.1. Distribución física	30
7.2. Sistema de alistamiento de pedidos actual.....	37
8. RESTRUCTURACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN FISICA.....	44
9. ESTABLECIMIENTO DE METODOLOGIA DE RECOLECCION DE PEDIDOS	50
10. VALIDACION DEL METODO HEURÍSTICO.....	61
10.1. Comparación de la situación actual y la propuesta.....	61
11. CONCLUSIONES	76
12. RECOMENDACIONES	78
13. ANEXOS	79
14. BIBLIOGRAFIA	86

TABLAS

Tabla 1 Proporción de tiempos de alistamiento de órdenes.	16
Tabla 2 Salidas diarias promedio.	37
Tabla 3 Reservas diarias promedio.	37
Tabla 4 Tiempos de desplazamiento entre almacenes.	41
Tabla 11 Clasificación ABC almacén livianos.	47
Tabla 12 Clasificación ABC pesados.	48
Tabla 5 Recolección por lotes.	50
Tabla 6 Recolección por zonas.	51
Tabla 7 Bucket brigades.	52
Tabla 8 Ruteo Óptimo.	53
Tabla 9 Ruteo heurístico.	56
Tabla 10 Matriz de comparación.	58
Tabla 13 Comparación de recorridos por recolección entre la situación actual y la propuesta.	62
Tabla 14 Clasificación ABC del almacén de livianos con respecto la frecuencia de visita de las ubicaciones.	79
Tabla 15 Clasificación ABC almacén de repuestos pesados con respecto a la frecuencia de visita de las ubicaciones.	81

FIGURAS

Figura 1 Repartición de costos de personal (grafico). Tomada de Mora (2011). ...	13
Figura 2 Promedio de actividad (gráfico). Elaboración propia.....	13
Figura 3 Almacén de livianos. Elaboración propia.	31
Figura 4 Ejemplo de estanterías. Elaboración propia.	33
Figura 5 Ubicación de repuestos pesados. Elaboración propia.	34
Figura 6 Diagrama de flujo. Elaboración propia.	36
Figura 7 Reservas promedio.....	38
Figura 8 Promedio repuestos.....	39
Figura 9 Diagrama de recorridos y clasificación ABC de la distribución actual. Elaboración propia.	40
Figura 10 Clasificaciones ABC almacén de pesado distribución actual. Elaboración propia.....	41
Figura 11 Representación de la distancia entre las ubicaciones que componen el almacén de repuestos. Elaboración propia.	42
Figura 12 Reestructuración de layout. Elaboración propia.	45
Figura 13 La asignación de las ubicaciones según los grupos de los repuestos. ...	49
Figura 14 Política transversal o forma de S. Fuente: Roodbergen (2001).	54
Figura 15 Políticas de retorno. Fuente: Roodbergen (2001).	54
Figura 16 Política de punto medio. Fuente: Roodbergen (2001).	55
Figura 17 Política brecha más larga. Fuente: Roodbergen (2001).	55
Figura 18 Política combinada. Fuente: Roodbergen (2001).	56
Figura 19 Ejemplo del heurístico combinado en el layout propuesto.	60
Figura 20 Recorrido 1 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia.	63
Figura 21 Recorrido 1 para un pedido situación propuesta. Elaboración propia.	64
Figura 22 Recorrido 2 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia.	64
Figura 23 Recorrido 2 para un pedido situación propuesta. Elaboración propia.	65
Figura 24 Recorrido 3 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia.	65
Figura 25 Recorrido 3 para un pedido situación propuesta. Elaboración propia.	66
Figura 26 Recorrido 4 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia.	67
Figura 27 Recorrido 4 para un pedido en la situación propuesta. Elaboración propia.	67
Figura 28 Recorrido 5 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia.	68
Figura 29 Recorrido 5 para un pedido en la situación propuesta. Elaboración propia.	68
Figura 30 Recorrido 6 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia.	69

Figura 31 Recorrido 6 para un pedido en la situación propuesta. Elaboración propia.....	69
Figura 32 Recorrido 7 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia.....	70
Figura 33 Recorrido 7 para un pedido en la situación propuesta. Elaboración propia.....	70
Figura 34 Recorrido 8 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia.....	71
Figura 35 Recorrido 8 para un pedido en la situación propuesta. Elaboración propia.....	71
Figura 36 Recorrido 9 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia.....	72
Figura 37 Recorrido 9 para un pedido en la situación propuesta. Elaboración propia.....	72
Figura 38 Recorrido 10 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia.....	73
Figura 39 Recorrido 10 para un pedido en la situación propuesta. Elaboración propia.....	73
Figura 40 Recorrido 11 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia.....	74
Figura 41 Recorrido 11 para un pedido en la situación propuesta. Elaboración propia.....	74
Figura 42 Recorrido 16 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia.....	75
Figura 43 Recorrido 16 para un pedido en la situación propuesta. Elaboración propia.....	75
Figura 44 Grafo del almacén de livianos.....	82

1. INTRODUCCIÓN

La gestión logística es un proceso importante en el desarrollo de las actividades de las organizaciones, ya que esta se refiere a la organización de las funciones de la cadena de suministros, por lo tanto las empresas hacen esfuerzos en la búsqueda de técnicas y herramientas que contribuyan a mejorar la efectividad de este proceso, donde finalmente optimicen la utilización de los recursos y maximicen los beneficios.

Actualmente en las empresas, ofrecer un servicio rápido y de calidad es un requerimiento mínimo para su sostenimiento y competitividad, debido a que el desarrollo tecnológico mundial ha cambiado la demanda y los demandantes, es decir, las personas, están más informadas, por lo tanto exigen cada vez más beneficios. Esto hace que sea necesario tener una gestión adecuada de lo que se produce y poder mantenerlo cerca del cliente en el momento que él lo necesite, aquí es donde la gestión de almacenes cumple un papel importante para satisfacer los requerimientos de los clientes, debido a que esta es una función logística que comprende recepción, almacenamiento, recolección y despacho; cuyas decisiones se ven enmarcadas desde la localización y distribución física de los centros de distribución o almacenes, hasta la optimización de los tiempos de alistamiento de las órdenes (picking) para la posterior entrega del producto al cliente interno o externo.

Con base en lo anterior, existen metodologías, filosofías y políticas creadas con el fin de mejorar el rendimiento de las operaciones de los almacenes, como el warehouse management system (WMS) que consiste en una herramienta apoyada en software que permite tener un control constante sobre las actividades del almacén (recepción, almacenamiento, preparación y expedición) y trae beneficios en todos los aspectos tenidos en cuenta en la gestión de almacenes, como el WMS hay diversas herramientas y metodologías apoyadas tanto en tecnología como en la información para encontrar resultados y que pueden ser aplicables en diferentes tipos de almacenes dependiendo de las características propias de cada uno.

La aplicación de técnicas como Bucket brigades Bartholdi III (1996), enfocadas al alistamiento de órdenes, trae muchas ventajas, que empresas como Subway, Mitsubishi Consumer Electronics America, entre otras han aprovechado, como, gratuidad de su implementación, además de la fácil aceptación y comprensión por parte de los trabajadores; puesto que no se necesita de grandes inversiones, en tecnología, recursos humanos y capacitaciones; y también disminuye la carga de

responsabilidades para cada uno de los trabajadores, fomentando el trabajo en equipo y mejorando el clima laboral.

Por lo tanto este proyecto busca determinar una propuesta de disminución de distancias recorridas del alistamiento de las órdenes por medio de evaluación de configuraciones de layout y métodos de ruteo heurístico de recolección en un almacén de repuestos de maquinaria agrícola de una empresa agroindustrial ubicada en el norte del Valle del Cauca, tomando como primera medida un análisis de las operaciones y características actuales del almacén caso de estudio, identificando la distancia como factor clave para el proceso de alistamiento de órdenes que afecta el tiempo de respuesta y como medida para evaluar su rendimiento; el siguiente paso es evaluar la aplicabilidad de las diferentes metodologías para seleccionar una que concuerde con las características del caso y que finalmente permita comparar la propuesta con la distribución actual del almacén.

2. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

La evolución de los almacenes a centros de distribución ha sido importante para el mejoramiento de las cadenas de abastecimiento. Esto se ha convertido en una estrategia que utilizan las organizaciones para reducir sus costos logísticos y ofrecer un mejor nivel de servicio; dado que ha permitido disminuir el nivel del inventario, facilitar el almacenamiento, recolección de pedidos y disminuir los costos del proceso. Las empresas en sus almacenes y centros de distribución se esfuerzan en aplicar nuevas herramientas, que mejoren la eficiencia de las operaciones que se realizan dentro de estas instalaciones, por ejemplo la implementación de un sistema de gestión de almacenes, diferentes tipos de picking o preparación de pedido, cross-docking, entre otras, las cuales requieren de una inversión significativa de capital para llevarlas a cabo.

La empresa caso de estudio, tiene un almacén de repuestos de maquinaria agrícola (repuestos para tractores, cosechadoras, buldócer, tractomulas, etc.), además de otros productos de uso general, (papelería, productos de aseo, elementos de protección personal, entre otros). El almacén está subdividido en dos ubicaciones, que están distanciadas una de la otra, en 161 metros (ver figura 11); en la primera ubicación se almacenan los repuestos considerados relativamente livianos o pequeños que puedan ser manipulados por el almacenista, como lo son tornillería, acoples, motores, cables, entre otros; y la segunda ubicación alberga repuestos de grandes dimensiones y/o pesados para los cuales hay que hacer uso de vehículos como cargadores o montacargas para su transporte. Dentro del almacén operan dos almacenistas por turno, los cuales realizan todas las actividades de recepción, almacenamiento, búsqueda, recolección, despacho de repuestos y sistematización del registro de los pedidos.

“En el centro de distribución, la separación y la preparación de los pedidos puede consumir hasta un 50% del costo operativo y del tiempo de los recursos de personal del que se dispone, esto sin incluir las tareas específicas del despacho como el empaque final, la programación del transporte y la validación del pedido, tal como se ilustra en el siguiente gráfico.” Mora (2011).

Repartición de Costos de Personal

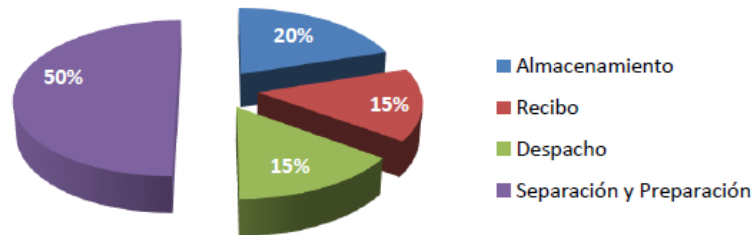


Figura 1 Repartición de costos de personal (grafico). Tomada de Mora (2011).

Esta ocupación del tiempo del personal mostrado en la anterior figura, se ve relacionado con los datos obtenidos durante 4 meses en el almacén objeto de investigación, específicamente en la recolección de los pedidos o reservas en este caso. Lo antes mencionado se muestra en la representación promedio diario de las salidas de repuestos del almacén tanto liviano como pesado, que arroja los siguientes resultados:

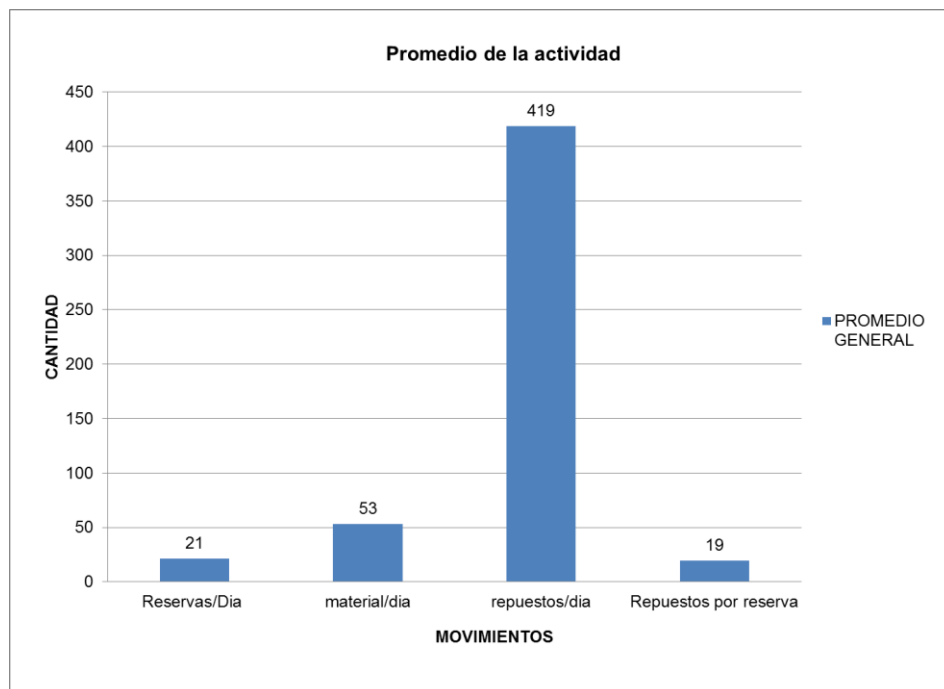


Figura 2 Promedio de actividad (gráfico). Elaboración propia.

Se observa en la anterior gráfica los promedios de los movimientos de materiales que ocurren dentro del almacén por reserva; las reservas son las solicitudes de pedidos, donde se destaca la gran cantidad de repuestos que son despachados en un día promedio de trabajo en el almacén (419). En el día el almacén mueve 21 reservas, de estas 5 regularmente comprende repuestos pesados y el restante son de livianos (16); a raíz de esto por cada reserva repuestos pesados, los almacenistas deben desplazarse hacia la otra ubicación, la cual está a una distancia de 161 metros, cuyo tiempo de recorrido de ida y vuelta es de 5 minutos sin contar el tiempo de búsqueda y recolección del repuesto, que varía dependiendo de la cantidad y el tamaño del repuesto solicitado.

Para este caso de investigación se presentan condiciones que dificultan el objetivo final del almacén, el cual es entregar los pedidos. Para detectar estas circunstancias según Mora (2011) es necesario entender que las actividades físicas que se desarrollan en el proceso de almacenamiento son: Recepción, Almacenamiento, Preparación de pedidos y Expedición o despacho

Al analizar cada etapa se pueden identificar situaciones no deseadas, que surgen dentro del almacén objeto de investigación:

2.1. Recepción

La recepción de los proveedores es realizada por el mismo almacenista que prepara los pedidos, debido a que esta actividad no tiene horario fijo ni lugar designado; esto genera tiempos de espera para los clientes que solicitan pedidos, además hace que el flujo normal de la operación se vea saturado.

2.2. Almacenamiento y ubicación

El almacén de livianos y/o pequeños, las estanterías tienen una codificación y cada repuesto tiene una ubicación en el sistema lo que permite conocer su ubicación exacta (ver figura 4), pero la señalización, es decir el etiquetado tanto de las estanterías como de las ubicaciones puntuales de los repuestos no es lo suficientemente clara para recolección. Adicionalmente las estanterías están divididas en bloques por marcas de los repuestos, pero esta regla no se cumple totalmente puesto que dentro del almacén hay una zona que está organizada según el criterio del almacenista, ya que son repuestos semipesados y no caben en las estanterías de su marca correspondiente. Algunas de las estanterías están

deterioradas por el peso de algunos repuestos, lo cual es un riesgo para la salud del almacenista.

2.3. Búsqueda

En la actividad de búsqueda de los repuestos las dificultades principales son causadas por el espacio estrecho y/u obstruido con arrumes como láminas separadoras, cajas, etc. Aparte el etiquetado tanto de las estanterías como de los repuestos que se menciona en el párrafo anterior no facilita la búsqueda del repuesto para su recolección.

2.4. Recolección

En el almacén de repuestos maquinaria agrícola; dependiendo de la solicitud del cliente, el almacenista debe desplazarse dentro del almacén de livianos o hasta al almacén de pesados. La recolección de los repuestos se ve afectada por los largos desplazamientos, que se producen por la división del almacén de livianos y pesados debido a que son instalaciones distintas; donde el recorrido completo de ida y vuelta entre almacenes son en promedio 14 minutos considerando el tiempo de carga del repuesto.

El espacio del almacén de livianos no permite la utilización de materiales de apoyo para pedidos con alta cantidad de referencias, puesto que deben hacer varios viajes para completar la recolección de un pedido con varias referencias; esto porque algunos son pesados o es difícil el agarre por la gran dimensión o cantidad de los repuestos a entregar.

También se presenta demora en la recolección debido al conteo de los repuestos como tornillos arandelas tuercas, etc. Los operarios deben contar correctamente para poder entregar el repuesto solicitado. Esto ocurre porque los repuestos llegan en unidades de carga que dificulten el despacho de los repuestos.

2.5. Entrega o despachos

El almacén no tiene una estructura de muelle para la carga o despacho de artículos semipesados, pesados o livianos, simplemente los vehículos se acercan a la puerta para poder cargar o descargar los repuestos. Para permitir la salida de repuestos desde el almacén hasta el campo deben presentar una boleta con la firma del supervisor encargado y registrar la salida en los diferentes puntos de vigilancia, esto por política de seguridad de la empresa, lo cual aumenta el tiempo de espera de los repuestos para la maquinaria en campo.

Un problema importante del almacén es su distribución física, puesto que está dividido en dos ubicaciones, esto hace que los almacenistas tengan que hacer largos desplazamientos para realizar la recolección de los pedidos de repuestos pesados y tengan que dedicar más tiempo en la actividad, esto se relaciona con lo dicho por Bartholdi III y Hackman (2014) que plantearon que la preparación de pedidos normalmente representa alrededor del 55% de los tiempos de operación del almacén; y la preparación de pedidos en sí puede subdividirse así:

Tabla 1 *Proporción de tiempos de alistamiento de órdenes.*

Actividad	% de tiempo de alistamiento de órdenes.
Transporte	55%
Búsqueda.	15%
Extracción.	10%
Trámites y otras actividades.	20%

Fuente: Bartholdi III y Hackman (2014).

Según la literatura el alistamiento de pedidos es el proceso que más tiempo representa dentro de la operación del almacén, esto por desplazamientos tan grandes como en el almacén objeto de estudio que causa retrasos en la reparación y mantenimiento de la maquinaria, actividad que depende del tiempo de reacción del almacén, el cual hace llegar los repuestos; y que es crítica para la empresa, debido a que la disponibilidad de maquinaria es la que permite la producción y manejo de materia prima.

Al observar lo anterior se puede concluir que el desplazamiento es la actividad más improductiva dentro de las actividades del almacén, puesto que esta inherente en todo el proceso de alistamiento de pedidos y además consume más tiempo como se observa en la tabla 1, lo cual se representa en costos; evidenciado esto en el almacén antes mencionado; dado que los almacenistas tienen que ir a buscar los repuestos dentro del almacén livianos; donde pueden ocurrir varios viajes en caso de que soliciten 5 o más repuestos en una sola reserva, debido falta de equipos de manipulación, o desplazarse 161 metros hasta el almacén de pesados; en promedio se producen 5 reservas o pedidos de pesados diarias las cuales requieren 14 min en promedio para su recolección y carga.

Con base en lo anterior, se plantea la siguiente pregunta:

¿Cómo establecer una propuesta que ayude a simplificar las actividades que dificultan el proceso de alistamiento de órdenes según las características del almacén de repuestos?

3. OBJETIVO GENERAL

Diseñar una propuesta de mejora que contribuya con la disminución de la distancia recorrida en el proceso de alistamiento de las órdenes.

3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los factores relevantes para el desempeño eficiente del proceso de alistamiento de órdenes del almacén objeto de estudio.
- Realizar una distribución física acorde a las características que mejore el uso del espacio y posibilite el desarrollo de metodologías.
- Establecer una metodología que contribuya con la mejora del rendimiento del proceso de alistamiento y recolección de órdenes del almacén.
- Validar la metodología propuesta por medio de una comparación con respecto a la situación actual.

4. JUSTIFICACIÓN

La gestión de almacenes es fundamental para las empresas porque son parte de la cadena de suministro y de la logística, donde hay una oportunidad para buscar mejorar rendimiento de las operaciones que ocurren en el almacén, con metodologías para cumplir los objetivos de la empresas pero sin la necesidad de grandes inversiones en tecnologías. Este tema no ha sido abordado con profundidad según De Koster (2007) en su revisión de la literatura, donde concluye que menos del 30% de los artículos son relevantes y que además las implementaciones existentes solo son aplicables a un tipo general de almacén pasando por alto almacenes con condiciones específicas; esto hace que llevar a cabo un proyecto de este tipo, se convierta en un reto para encontrar nuevos caminos de solución para muchos tipos de necesidades en empresas de todos los sectores, por esto, el desarrollo de esta temática es una elección interesante. El proyecto se realiza con la necesidad de mejorar la productividad del almacén caso de estudio, este se enfoca en el proceso de alistamiento de órdenes porque es la actividad que más representa costos y esfuerzos, además de esta depende en gran medida la entrega a tiempo del repuesto al cliente final y el flujo adecuado del proceso productivo.

La recolección es la actividad prioritaria del proceso de alistamiento de órdenes, está es la manera más productiva de disminuir costos, aumentar ganancia, optimizar uso de recursos dentro del almacén; dado que actualmente el mejoramiento continuo es una necesidad, por esto se propone establecer una metodología que contribuya a la reducción de las distancia recorridas en la recolección de los pedidos que repercute directamente en el tiempo de respuesta del almacén. Adicionalmente, el cumplimiento de objetivos como el mejoramiento de las condiciones de trabajo (utilización de espacio, esfuerzos, movimientos, simplificación), el aprovechamiento de espacios concluya que este sea útil para el desarrollo de las actividades del almacén y para asegurar que la metodología propuesta sea eficiente.

La gestión de almacenes no hace obligatorios los grandes cambios (automatización) en las actividades del mismo para obtener resultados positivos y esto la hace fácilmente aplicable a cualquier tipo de almacén, ya que además de generar un mejoramiento de actividades complicadas y una creación de cultura de orden que no genera resistencia en la mayoría de los casos; por esto los involucrados en el proceso de alistamiento, y entrega de pedidos son beneficiados importantemente en la disminución de cargas físicas (los almacenistas o recolectores), por otra parte la disponibilidad de maquinaria de la empresa tanto

en campo como dentro del taller tendría un impacto positivo; puesto que del tiempo de repuesta del almacén en la entrega de los repuestos dependerá la duración de los mantenimientos correctivos y preventivos, finalmente toda la organización es la que más aprovecha esto, ya que se vuelve una metodología aplicable en muchas áreas y hace al proceso completo de la empresa más esbelto.

5. MARCO CONCEPTUAL

Order picking o preparación de pedidos: según Torres (2013) es la recolección de ítems del almacén para satisfacer una orden de un cliente en específico. Picking es la recogida y combinación de cargas no unitarias que conforman el pedido de un cliente.

Línea de pedido (LP) es el número de diferentes artículos o referencias que componen un pedido.

Picking lista o lista de selección: lista la cual contiene los pedidos a procesar.

De acuerdo a Mora (2011) dentro del proceso de despacho, las dos actividades o sub-procesos principales son la separación y la preparación de los pedidos.

Separación de pedidos o picking: consiste en la extracción de los ítems o productos de las estanterías en un almacén o centro de distribución correspondiente a una orden de un cliente.

Preparación de pedidos: comprende el transporte de los productos separados a una zona para realizar ya sea embalaje, etiquetado, cambio de empaque, entre otras, así obtener el consolidado del pedido.

El proceso de picking puede ser mediante un procedimiento o automatizado.

Metodologías de picking

Piasecki, (2012) define las siguientes metodologías para realizar la recolección de pedidos:

Preparación de pedidos básica: el método más básico de preparación de pedidos, el producto se almacena en una ubicación fija en la estantería estática o estante de la plataforma. Un preparador de pedidos recoge una orden a la vez siguiendo una ruta hacia arriba y abajo cada pasillo hasta que se recogió todo el pedido.

Batch picking o recolección por lotes, se basa en una extracción conjunta del material de todos los pedidos agrupados y una separación posterior de las cantidades de cada referencia que van en cada pedido.

Pick to box o extracción directa a unidades de empaque, es un procedimiento que se basa en una extracción del material agrupado y una introducción directa del mismo en las cajas de envío en el mismo punto de extracción del material, eliminando así el proceso de separación posterior.

Zone picking o recolección por zonas: Un método de preparación de pedidos que consiste en dividir las unidades de mantenimiento de existencias (SKU) en una serie de diferentes zonas de cada trabajador de almacén capacitado para recoger dentro de una zona asignada.

Wave picking o recolección por oleadas: agrupar por zonas la separación de los pedidos, basa su eficacia en el concepto estadístico de ruta óptima; esta ruta recorre de forma óptima (bajo el concepto definido en el problema del cartero chino, nunca pasar dos veces por el mismo sitio) las distintas posiciones de recogida de producto y que empieza a tener relevancia a partir de un cierto número de posiciones diferentes a recorrer.

Bucket Brigades o Brigadas de cubo son una nueva forma de trabajo compartido entre los recolectores en un almacén de modo que las estadísticas del flujo de orden provocan una espontánea asignación de trabajo para equilibrar el esfuerzo. El resultado es un aumento de las tasas de recolección, sin intención consciente de los trabajadores, sin la guía de la administración, sin ningún tipo de modelo de trabajo, sin ningún cómputo, de hecho sin ningún tipo de recolección de datos en absoluto.

Tecnologías

En cuanto a tecnologías utilizadas en la recolección de pedidos, Mora (2011) en su libro sobre gestión logística de almacenes presenta las mencionadas a continuación:

El Warehouse Management System o en español Sistema de Gestión de Almacenes, es el corazón del centro de distribución. Es una aplicación de software que prevé un control sobre cada fase de la operación logística: La recepción, almacenamiento, reabastecimiento, preparación de pedidos y la carga de camiones.

RFID (siglas de Radio Frequency Identification), en español identificación por radiofrecuencia, es un sistema de almacenamiento y recuperación de datos remotos que usa dispositivos denominados etiquetas, transpondedores o tags RFID.

Código de barras

Conjunto de líneas paralelas verticales de distintos anchos y espacios se conoce como código de barras, que sirve para codificar y comparar información de un artículo, que al ser leído por un escáner proporciona datos relacionados con las características del producto como composición, precio, datos nutricionales y hasta fecha de vencimiento.

Pick to light o recolección por luces o colores es un método de separación que se basa en guiar por señales ópticas a los operarios a través de las zonas de almacenamiento para separar los productos de una forma ágil, rápida y precisa, reduciendo también el uso de papeles.

Pick to voice o recolección por voz: Los sistemas de voz dejan a los auxiliares comunicarse directamente con el WMS (sistema de gestión de almacenes), para escoger órdenes rápida y eficazmente sin usar ningún papel o dispositivos de mano para registrar el Picking.

6. ESTADO DEL ARTE

Bartholdi III y Eisenstein, (1996a) desarrollaron una propuesta de investigación en busca de establecer una forma sencilla de auto equilibrar la línea de producción, mediante la técnica Bucket Brigades, que consiste en una organización de los trabajadores desde el más lento al más rápido, de la cual emerge una asignación espontánea de labores; ellos consideraron en su modelo un contenido de trabajo determinístico, ya que establecen unas condiciones en el que un trabajador no puede superar a otro, es decir, su velocidad de caminata de ida es finita y de regreso una velocidad infinita, donde la segunda no se toma en cuenta en la línea de producción y permite el auto balanceo de la línea.

Luego Bartholdi III y Eisenstein (1996b) realizaron un artículo llamado “BUCKET BRIGADES A Self-Balancing Order-Picking System for a Warehouse” donde se evalúan los resultados satisfactorios de la implementación del Bucket Brigades, los cuales son: la disminución, del 40% del trabajo en proceso y también 15% del tiempo de alistamiento de ordenes; reemplazando el antiguo método de alistamiento de pedido (zona de picking) en una importante cadena de minorista, donde una consideración cambió con respecto a la investigación anterior, tal como, el contenido de trabajo, que ya no es determinístico, porque a partir de esta investigación se empieza a adaptar la técnica al proceso de alistamiento de órdenes, donde las labores de los que intervienen en el proceso varían de orden a orden.

Posteriormente Bartholdi III; Bunimovich, L y Eisenstein, D (1999) analizaron el Bucket Brigades a través de una simulación, con dos y tres trabajadores, para observar el comportamiento y la capacidad que tiene la línea de producción de absorber un nuevo trabajador, auto balancearse y evaluar dichos impactos. Como resultado de esto concluyen, que el Bucket Brigades trabaja mejor con un amplio rango de velocidades de trabajadores, esto es, que los trabajadores tengan la capacidad de cambiar sus velocidades, para permitir ajustes dentro de la línea de producción.

Roodbergen (2001) desarrolló un documento donde define, explica y ejemplifica paso a paso cada una de las herramientas y metodologías concernientes a la gestión de almacenes, como políticas de recolección, diseño del almacén, diseño de la distribución, donde desarrolla paso a paso un algoritmo para resolver con una versión del problema del agente viajero llamado Steiner TSP aplicado a los recolectores dentro de un almacén de pasillos paralelos múltiples; con uno y más

bloques de estanterías, comparándolo con otras políticas de recolección como en forma de S o transversal, recolección de la brecha más grande, punto medio y combinada, para evaluar los resultados de una algoritmo para hallar rutas optimas en una versión muy generalizada de un almacén, donde concluye que encontrar un método de ruteo adecuado siempre es importante provocando ahorros de tiempos hasta del 35% y que en función de las características del almacén, como el tamaño y características de la lista de recolección, como la cantidad de ítems a recolectar; la división de bloques de estanterías es más o menos efectiva para el ahorro de tiempos en los desplazamientos.

Una revisión de la literatura (140 publicaciones) realizada por De Koster et al (2007), acerca del diseño y control de la preparación de pedidos en almacenes, con la cual llegan a las siguientes conclusiones: todavía existen pocas publicaciones acerca del diseño de layout, de la recolección por zona o por lotes, estrategias de almacenamiento, y acumulación y separación de pedidos, por la razón de que los autores se inclinan por los procesos de almacenes automatizados. También concluyen que las áreas de Metodos de ruteo y heurísticos, y la asignación de almacenamiento han sido extendidos por parte de autores.

El estudio realizado por Koo, Pyung-hoi (2009), donde analizó no solo las ventajas de Bucket Brigades con respecto a la zona de picking, sino también las debilidades inherentes a esta técnica. Para dar solución a las dos principales ineficiencias (bloqueo de recolector y retrasos por transferencia) propuso un nuevo protocolo del sistema de alistamiento de ordenes con Bucket Brigades; el cual consiste en la combinación de la zona de picking y el alistamiento de ordenes por Bucket Brigades, en donde los trabajadores se organizan por zonas, pero con la capacidad de seguir recolectando más ítems, no viéndose limitados a solo trabajar en un área definida. Finalmente concluyó que su nueva propuesta elimina las pérdidas de eficiencia e incrementa la tasa de recogida.

Un punto importante para evitar cometer errores o disminuirlos significativamente en las operaciones correspondientes a la preparación de pedidos que ocurren dentro del almacén es la identificación y captura de información, esto hoy en día es muy importante para tener un control en tiempo real del movimiento de los artículos y que permitirán una trazabilidad exacta de los mismos. Charry, Andres (2010) en su proyecto de especialización en gerencia Logistica, el cual consiste en el mejoramiento logístico en el almacén central de repuesto de Toyota de Colombia S.A; encontró problemas como perdida de los repuestos, errores en la recolección, despachos incorrectos, lo que a la final ocasionaba ventas perdidas

(en promedio 11 millones de pesos al año) y aumento de costos de operación por reproceso y horas extras. La carencia de una verificación en las operaciones de ubicación, recolección y despachos de los pedidos era la principal causa; sólo los repuestos importados entraban al sistema con identificación de código de barra, el resto de operaciones se ejecutaba de forma manual, es decir, por ejemplo en la recolección de repuesto, la verificación se realizaba visualmente por parte del operario. El autor propuso un modelo de identificación y captura de información, además calculó un ahorro de 3 millones al mes y un retorno de la inversión en aproximadamente de 3 años.

En la gestión de almacenes, la distribución física o el layout es parte fundamental para el desarrollo del proceso de alistamiento de órdenes, dado que dependiendo de la configuración tanto de estanterías, pasillos como punto de entrega o despacho, facilitan u obstaculizan dicho proceso, esto lo plantean Arango et al (2010) en su artículo sobre la restructuración del layout de una bodega industrial; donde demuestra los beneficios a través de la simulación, comparando el estado actual y la implementación de la propuesta elegida por la metodología de Bassan. Cuyo objetivo era la optimización del espacio de almacenamiento y disminución del recorrido. Los resultado obtenidos de la simulación del proceso de picking de la bodega, muestran un ahorro en el área del almacén del 13% y además 12.3% del tiempo promedio empleado por los operarios para cumplir una orden. La implementación de la propuesta generó a la empresa un ahorro de 86 millones mensuales en movimiento de cargas frente a un gasto de 630 millones en la adecuación dela bodega.

Correa et al (2010) realizaron un estudio sobre la gestión de almacenes y la utilidad de las tecnologías de la información y comunicación (TIC's) en las empresas colombianas, donde encontraron que solo el 42% de las empresas (multinacionales, grandes , medianas y pequeñas) que incluyeron en el análisis y a las que tuvieron acceso de la información, utilizan TIC para gestión de sus almacenes, algunos son, sistema de administración de almacenes WMS, sistema de administración de personal LMS, sistema de administración de patio YMS, RFID sistemas de radiofrecuencia, codificación de barra, recolección por voz picking to voice recolección por luces picking to light, la mayoría son complementarios. Una de las razones del bajo porcentaje de utilización de estas TIC es la alta inversión, dado que estas tecnologías son costosas, otra es la cultura organizacional, es decir, la adaptabilidad a este tipo de cambios tan grandes. En el artículo describen cada una de las funciones y aplicaciones de cada TIC's, destacando sus aportes al mejoramiento de la productividad del almacén, el manejo de inventario, la gestión de la ubicaciones de los productos,

trazabilidad, asignación de personal, entre otras; en si la implementación de estas TIC mejoran el flujo de la información y de materiales en tiempo real, así gestionando mejor los recursos y operando eficientemente para satisfacer la necesidades de los clientes.

Un año más tarde Guevara y López (2011) Realizaron una propuesta para mejorar el sistema de picking de la empresa Coopservir Ltda, el cual consistía en la implementación del pick to voice o recolección por voz, donde mostraron resultados en la disminución de tiempos y de personal dentro del proceso de alistamiento, como certificación y separación de pedidos, pero la implementación del pick to voice trae costos adicionales en inversiones, estanterías, capacitaciones, entre otras; que sólo se verían recuperados a largo plazo para este caso.

En su artículo Arrieta (2011) realiza una revisión de la literatura de diferentes autores sobre la gestión de almacenes, y puntualiza unos aspectos que son críticos para que los almacenes de las empresas operen de manera eficiente, para ello deben considerar en primera medida identificar el tipo de almacén que poseen, seguido deben definir el perfil de actividad de almacenamiento; esto para conocer la frecuencia y en que posición son recuperados los productos, así redistribuir las ubicaciones de los artículos para facilitar el flujo del material dentro del almacén y consecuentemente satisfacer con rapidez los requerimientos de los clientes. El segundo punto es la evaluación de la eficiencia del almacén a través de indicadores, como por ejemplo de productividad, confiabilidad del inventario o costos de almacenamiento. La anterior medición del almacén permite realizar un análisis de las actividades que ocurren dentro del almacén y poder descartar o simplificar las que no contribuyan a la buena gestión. El otro aspecto importante es el layout o la distribución física, que está directamente relacionado con el perfil de actividad del almacén esto lleva a conseguir un equilibrio que contribuya al movimiento tanto de los productos como de los equipos utilizados en esta actividad.

Pequeñas mejoras dentro de las empresas, son de gran importancia para satisfacer las necesidades de los clientes, ejemplo de ello Cardona, Castro y Estrada (2011), quienes desarrollaron un trabajo de grado el cual consistía en la implementación del picking en una empresa de productos oftálmicos Compulens y Llanes Ltda, diagnosticaron el rendimiento actual del proceso de picking, donde encontraron que el problema principal resultaba ser los pedidos atrasados; los cuales llegaban hasta más del 50% de todos sus pedidos en los últimos tres meses. Esto ocurría por los desplazamientos o recorridos que debían hacer los

operarios para preparar los pedidos, los cuales demandaban mucho tiempo y hacia retrasar el proceso productivo posterior. Pero la causa raíz de los largos desplazamientos era provocada por una mala distribución de la bodega, es decir, la ubicación dentro de la bodega de los artículos. Para darle solución propusieron una clasificación ABC, de la que se obtuvo una mejor distribución y permitió reducción en los recorridos, por consiguiente en los tiempos de alistamiento; puesto que, los productos de alta rotación se ubicaran más cerca del puesto de trabajo del operario encargado del picking. Con la realización de la clasificación ABC el proceso de picking para los ítems clase A, obtuvieron una mejora en tiempo de 24.63%, de gran importancia; dado que el 70% de los alistamientos que se realizan en la empresa Compulens y Llanes Ltda son de ítems clase A.

Lim, Yun Fong (2011) desarrolló una investigación de una nueva interpretación de la técnica Bucket Brigades, la cual consiste básicamente en minimizar los tiempos de los viajes de regreso en la recolección, que en la interpretación tradicional del Bucket Brigades viene intrínseca. Esto lo alcanzaron dividiendo el flujo tradicional de trabajo unidimensional del Bucket Brigades en dos mitades repartidas en el pasillo, creando una especie de trabajo en u, para eliminar los viajes de regreso que resultan sumamente improductivos; con lo que concluyeron que el Celular Bucket Brigades como lo nombran, es más productivo que el tradicional originalmente creado en serie, maximizando las recogidas de ordenes por unidad de tiempo y minimizando recorridos, y tiempos ociosos. Tiempo después Lim, Yun Fong (2012) con respecto a su investigación a través de un caso de estudio en un centro de distribución presenta los resultados más importantes con respecto a la disminución de las mayores pérdidas de eficiencia evitando a su vez el trabajo en proceso en el alistamiento de órdenes que Koo (2009) consideró necesario para mejorar las tasas de recogida.

En cuanto a las diferentes configuraciones de la disposición interna del almacén, Dukic y Opetuk (2012), realizaron una investigación para destacar la importancia de la elección de la configuración del área de picking sobre los costos (distancia) de operación del almacén y de cómo esto afecta el rendimiento del mismo. Para ello utilizaron las diferentes alternativas de layout encontradas en la literatura, las cuales son: la distribución *tradicional*, la *tradicional con pasillo de cruce central*, *espina de pescado (fishbone)* y la forma en V (*chevron*), así mediante un modelo de simulación; considerando las políticas de rutas heurísticas de recolección como la transversal o *S-shape* y la compuesta, además del número de órdenes a recoger; evaluaron la distancia recorrida en las diferentes configuraciones de layout y obtuvieron como resultado que la configuración tradicional con pasillo de cruce central siguiendo una política de ruta compuestas es la que brinda la menor

longitud recorrida. Pero de esta investigación concluyen, que para cada caso de almacén estos resultados pueden diferir dadas sus características de operación.

Recientemente Horta et al (2016) realizaron un modelo el cual contempla una solución para el problema de asignación dentro del almacén en un sistema crossdocking para asignación de espacios de almacenamiento para distintas tiendas, dependiendo de los tipos de requerimientos con el fin de disminuir tiempos de recorridos entre dicho espacio y los muelles de descarga y de despacho, teniendo en cuenta factores para la priorización de ordenes y combinándolo con un ruteo para maquinaria de carga dentro de las instalaciones, por medio de un modelo matemático y utilizando clusters para la asignación, concluyendo finalmente que al aplicar el mejor escenario simulado la distancia recorrida mensualmente puede ser reducida hasta un 23%.

En este mismo año Elbert et al (2016) evaluaron la eficiencia de las políticas de ruteo de alistamiento de órdenes dentro de un almacén. Principalmente realizaron una investigación en diferentes compañías a través de entrevistas al personal en sus respectivos almacenes, de las cuales obtuvieron como resultado, que la dificultad de seguimiento de las rutas óptimas predefinidas y algunos factores externos como el comportamiento, causaba desviaciones en las rutas de recolección de ordenes en el proceso de alistamiento de pedidos, esto genera el aumento del tiempo medio de alistamiento de una orden. Al final concluyeron en su artículo que entre más ítems tenga una orden, se incrementará la probabilidad de desviaciones en la ruta de recolección óptima aumentando el tiempo medio de recolección incluso más que en políticas de rutas de recolección heurísticas.

7. IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES RELEVANTES

Para el desarrollo del primer objetivo el cual es identificar los factores relevantes para el desempeño eficiente en el proceso de alistamiento de pedidos del almacén caso de estudio, se presenta una descripción general del proceso de alistamiento de órdenes del almacén analizando cada factor.

7.1. Descripción del almacén

Es un almacén de repuestos de maquinaria agrícola y de algunos productos de uso común como papelería, elementos de protección personal e implementos de aseo; el cual abastece los requerimientos principalmente de repuestos de la maquinaria agrícola como tractores, cosechadoras, alzadoras, buldócer, entre otras, dentro del taller y en el campo. Además cuenta con dos ubicaciones, una para repuestos relativamente livianos y de fácil manipulación; y otra para repuestos que son pesados o de grandes dimensiones, de los cuales algunos deben ser manipulados de manera especial, por medio de montacargas o cargadores. El desplazamientos entre los dos puntos como se muestra en la *figura 11* es de aproximadamente 161 metros de ida y toma 2 minutos y 31 segundos en ser recorridos por el almacenista.

El almacén utiliza un sistema de información, el cual es SAP para gestionar el manejo de repuestos, esto es para crear reservas, codificar el material y la ubicación, como también para registrar las entradas y salidas del mismo.

7.1.1. Distribución física

El almacén de repuestos livianos tiene un área de 124 m², comprende un pequeño espacio para la recepción de repuestos de proveedores, seguido hay dos escritorios para el registro de los movimientos en el sistema; para el desarrollo de la recolección se cuenta con poco espacio para el desplazamiento de los almacenistas, los pasillos son de aproximadamente 90 cm y algunos de 65 cm; los cuales deben ser mínimo de 1,2 metros de ancho para el libre movimiento de los trabajadores, según la resolución 2400 de 1979 del ministerio de trabajo y seguridad social; esto dificulta el desarrollo de las actividades de alistamiento de pedidos. A continuación se muestra en la siguiente figura como está dispuesta la distribución física del almacén de livianos:

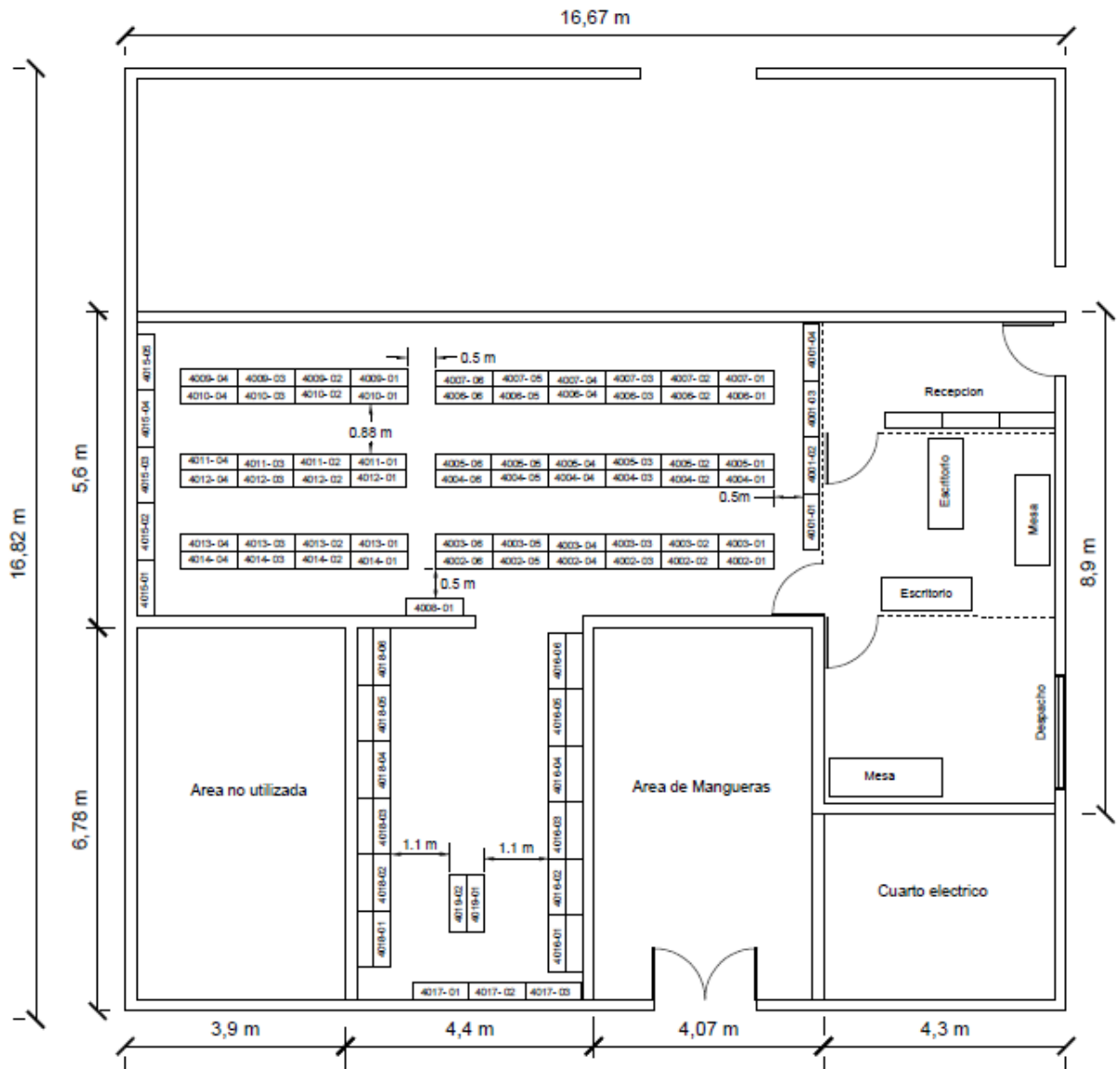


Figura 3 Almacén de livianos. Elaboración propia.

El almacén de livianos donde está la mayoría de los artículos, está organizada en su interior principalmente por marca de los repuestos y algunos por características similares o del mismo tipo, por ejemplo, tornillos y tuercas o arandelas; esto realizado a criterio del almacenista pero teniendo en cuenta la codificación de la ubicación. Los pasillos son muy estrechos, y también son obstaculizados por cajas de repuestos o láminas de separación de estanterías, lo que dificulta el movimiento de los almacenistas.

A continuación se muestran la codificación de las ubicaciones de los bloques de estanterías y una breve descripción de los repuestos almacenados.

- **4001** este bloque de estanterías comprende tornillería, tuercas arandelas y afines.
- **4002 y 4003** estos estantes son repuestos de la marca John Deere, la cual es para cosechadoras y alzadoras.
- **4004 y 4005** son repuestos correspondientes a la marca Caterpillar para la maquinaria de línea amarilla. Algunas de las estanterías de estas líneas contienen rodamientos, sellos y cunas.
- **4006 y 4007** es para los repuestos de la marca Case específicamente para los tractores.
- **4008** este consta de un solo estante y almacena tornillería, tuercas y arandelas.
- **4009** aquí están ubicados los repuestos para tractomulas de la marca kenworth de la montaña.
- **4010 y 4011** contiene repuestos eléctricos y afines como arranques, interruptores, limpiadores eléctricos, etc. Todo esto para maquinaria en general.
- **4012** bloque de estantes está dividido en ferretería, cepillos de acero, soldadura, suministros en general y la otra parte en implementos para motobombas y vagones.
- **4013** la estantería está dividida a la mitad, una son para camionetas marca Nissan, y la otra para las marca Chevrolet y Grove Monster.
- **4014** aquí están contenidos los repuestos de la marca Toyota y sólo una de las estanterías es para la referencia Grove Monster.
- **4016, 4017 y 4018** las estanterías son utilizadas para repuestos más pesados pero manipulables para el almacenistas; acomodados a criterio del almacenista. Por ejemplo cables de acero, cobre y aluminio, e implementos de seguridad como guantes y papelería (talonarios de formatos).

- **4019** contiene dos estantes, uno para tornillos, tuercas, arandelas y afines, y el otro estante tiene acoples de diferentes dimensiones.

Las estanterías son de 8 niveles están marcadas (de la “A” hasta la “H”) con una codificación que concuerda con un numero de referencia que identifica el producto para realizar la búsqueda del repuesto como tal. Las estanterías dentro del almacén de repuestos livianos esta etiquetadas y organizadas como lo muestra la siguiente figura:

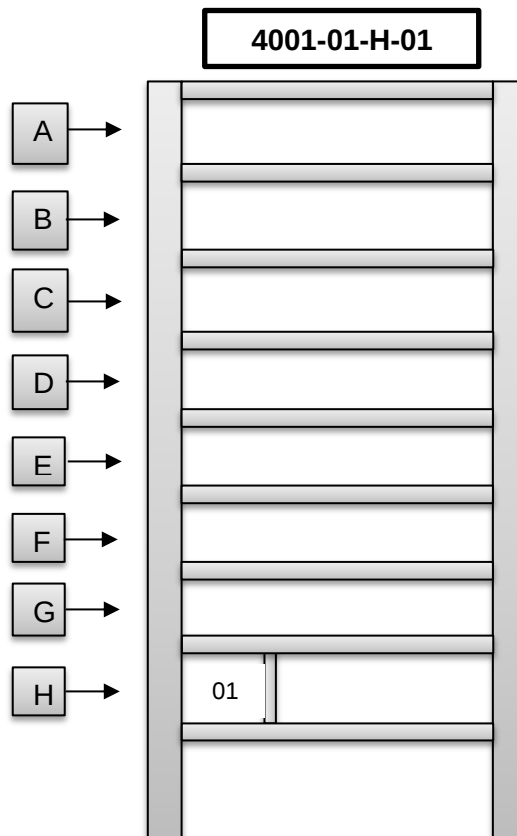


Figura 4 Ejemplo de estanterías. Elaboración propia.

Un ejemplo de la ubicación de un repuesto seria **4001-01-H-01**, primero se busca el bloque de estanterías marcada con **4001**, luego el estante **01**, seguido los niveles que están demarcados de arriba hacia abajo con letras desde la “A” hasta la “H”; en el ejemplo la “H” y por último la ubicación dentro del nivel del estante H en el compartimiento o posición del repuesto **01**.

La distribución del almacén de repuestos pesados: tiene un área de 82 m² se observa en la siguiente imagen con sus respectivas dimensiones, en esta área se almacena los repuestos pesados y de grandes dimensiones de la maquinaria agrícola y para su recolección deben ser movidos con equipos como montacargas, cargadores y/o con ayuda de personal del taller.

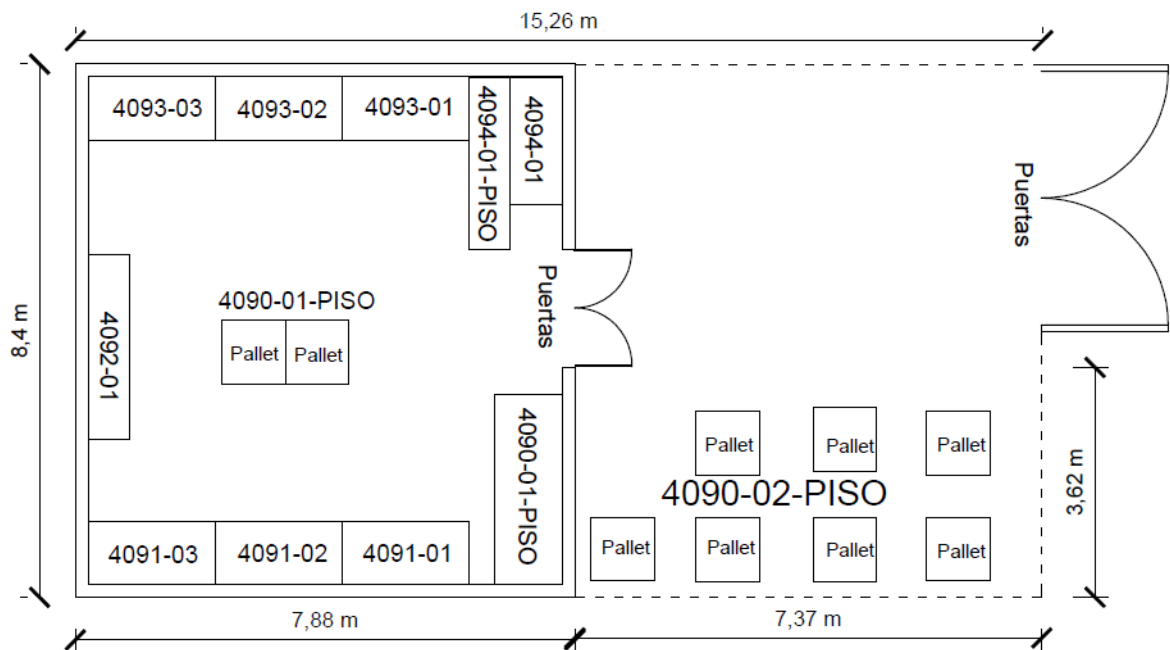


Figura 5 Ubicación de repuestos pesados. Elaboración propia.

La cantidad de referencias que maneja el almacén es de 1980 repuestos livianos y 95 de pesados, que están registrados en el sistema SAP con un código que identifica el material y otro para su ubicación. Estos están organizados de acuerdo al criterio del almacenista y cada referencia tiene su ubicación las cuales están etiquetadas para facilitar su búsqueda.

Unidades de carga de los repuestos, esto es, como se almacena las unidades de producto en pallets, cajas, unidades sueltas, envases; también como se acondicionan los pedidos del cliente, esto quiere decir, la presentación que los clientes quieren recibir sus productos, por ejemplo en unidades sueltas o con un embalaje especial. Para el caso de investigación, en el almacén las unidades de repuestos livianos llegan en cajas y estas son separadas posteriormente en unidades sueltas para ubicarlas en las estanterías; para el caso de los pesados llegan envueltos sobre pallets y se almacenan de esta manera.

La mano de obra del almacén de repuestos está conformada por dos almacenistas por cada turno, estos realizan todas las actividades de alistamiento de pedidos (recepción, almacenamiento, búsqueda, recolección, despacho y el registro sistemático de la información). Los turnos que manejan de lunes a viernes son los siguientes:

Turno 1: 7:00 am – 5:00 pm. Sábados de 7:00 am - 12:00 m.

Turno 2: 7:00 am - 4:00 pm, sábados y domingos de 7:00 am - 12:00 m.

Turno 3: 2:00 pm – 10:00 pm, sábados y domingos de 7:00 am -12:00 m.

Equipos de manipulación estos son los utilizados como apoyo para realizar el movimiento de los repuestos de cualquier pedido, actualmente el almacén cuenta sólo con un cargador y un montacargas para mover los pesados, pero para la recolección de livianos no tienen ninguna herramienta para realizar esta tarea con más facilidad, los almacenistas usan sus manos únicamente para cargar los repuestos; haciendo esto que tengan que realizar viajes innecesarios para recolectar varios repuestos de una misma reserva, dado que el mismo espacio no permite utilizar implementos de apoyo.

El flujo de actividades que deben seguir los almacenistas para realizar el alistamiento de una reserva o pedido, en la cual se solicita un repuesto ubicado dentro almacén del taller agrícola se muestra detalladamente en el diagrama de flujo en la *figura 6*.

De acuerdo al siguiente flujograma de proceso de las actividades que se efectúan en el almacén, para el cumplimiento de las reservas o pedidos solicitados por los clientes; que son los técnicos, es decir, mecánicos soldadores electricistas; se muestra que hay una decisión, la cual determina el tipo de pedido y el recorrido que debe hacer el recolector y que corresponde a la pregunta ¿el repuesto es liviano o pesado? y su respuesta condiciona la distancia recorrida.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL ALMACÉN

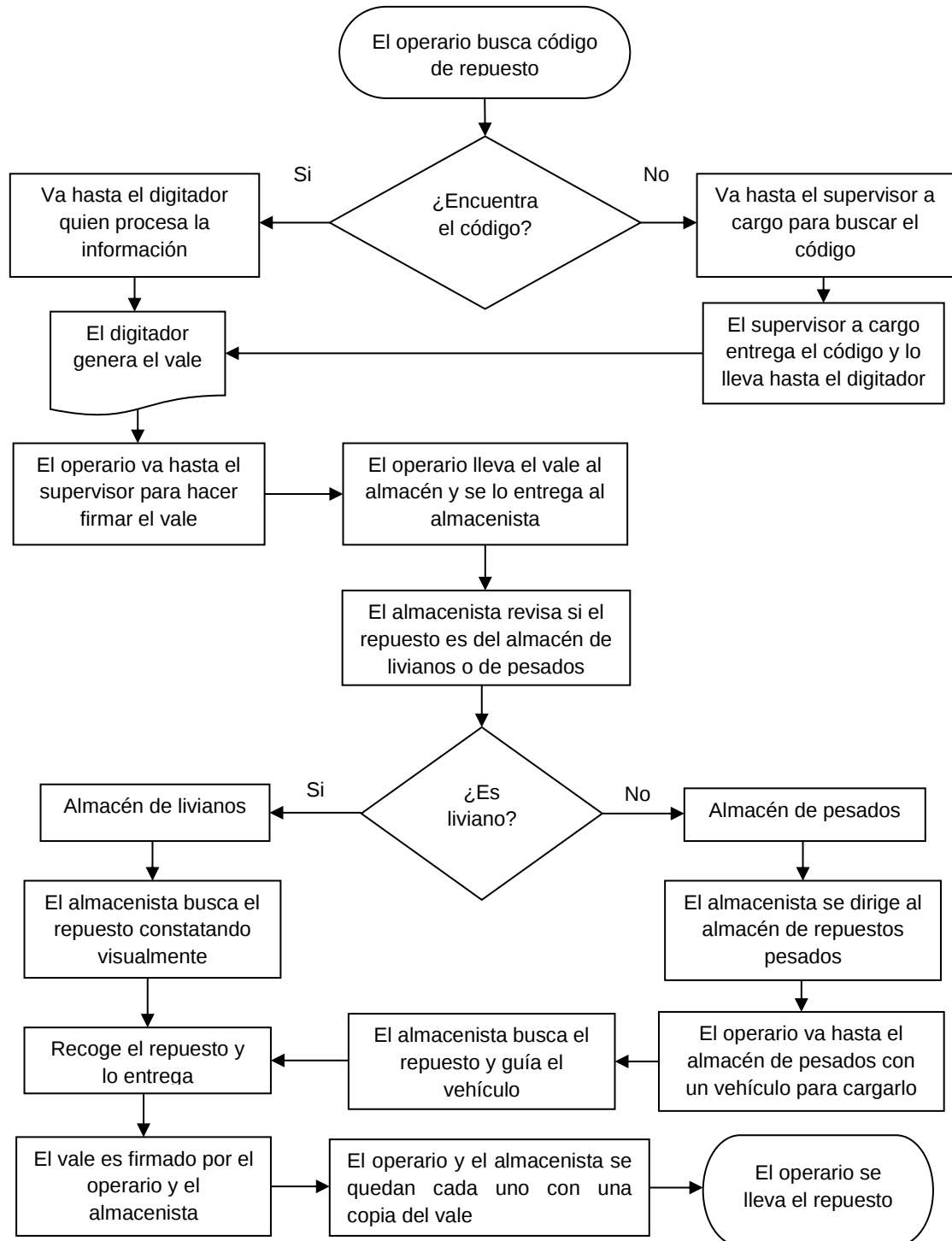


Figura 6 Diagrama de flujo. Elaboración propia.

7.2. Sistema de alistamiento de pedidos actual

Para el análisis del proceso la empresa suministra información sobre el movimiento de los repuestos, es decir, las entradas y salidas de material durante 4 meses (Abril, Mayo, Junio y Julio), además permitió la toma de tiempos para los recorridos entre ubicaciones del almacén en cuanto al cumplimiento de las reservas (las reservas son las solicitudes de pedido donde está comprendido la lista de repuestos que requiere un cliente). A continuación se presenta mediante tablas y gráficos los datos recolectados en el ejercicio.

Tabla 2 Salidas diarias promedio.

Mes	Reservas/Día	Ítem/Día	Repuestos/día
Abril	25	65	498
Mayo	20	47	293
Junio	22	50	438
Julio	20	49	445
Total promedio	21	53	419

Fuente: elaboración propia

En la tabla anterior se observan los datos obtenidos del proceso de recolección de los repuestos del almacén, donde en promedio al día se mueven 21 reservas, 53 referencias o ítems y 419 repuestos en total. Un flujo de materiales alto para dos recolectores y esto hace necesario encontrar la manera de disminuir tiempos de la recolección por orden.

Tabla 3 Reservas diarias promedio.

Mes	Repuestos por reserva	Reservas de Pesados	Reservas de livianos	Repuestos de pesados	Repuestos de livianos
Abril	23	6	20	23	477
Mayo	14	4	16	16	280
Junio	19	4	18	25	413
Julio	21	5	15	29	405
Total promedio	19	5	17	23	394

Fuente: elaboración propia

En la tabla 3 se observa el movimiento promedio diario en cada mes de las reservas indicando la cantidad de repuestos que comprende, es decir cuántos repuestos contiene en promedio un pedido. También muestra como está dividido el flujo entre repuestos livianos y pesados, marcando esto la frecuencia con la cual los almacenistas deben desplazarse entre almacenes y dentro de ellos. Por ejemplo en el mes de Abril se movieron en promedio al día 23 repuestos en cada reserva, de las cuales en promedio 6 reservas son de repuestos pesados y 20 son reservas de livianos, donde en promedio al día 23 repuestos son pesados y 477 son livianos.

La siguiente gráfica representa los datos descritos en el párrafo anterior, se observa que la frecuencia promedio de alistamiento de reservas para repuestos livianos es de 17 y para los repuestos pesados es de 5. Esto condiciona que el recolector tenga que hacer un esfuerzo recorriendo 322 metros para llegar hacia la ubicación, cada vez que soliciten reservas que contengan repuesto del tipo pesado.

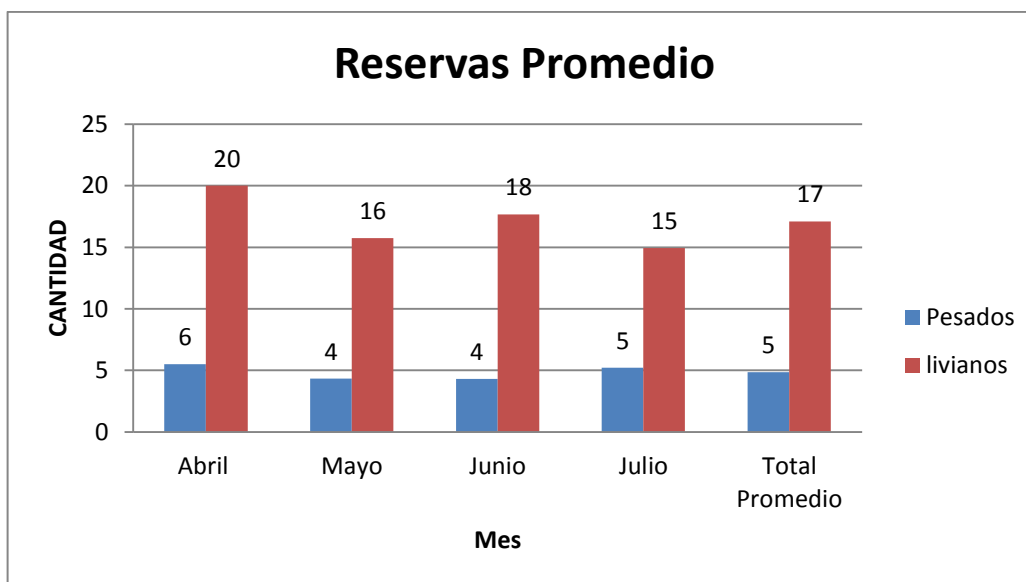


Figura 7 Reservas promedio.

En cuanto al volumen de repuestos que contienen las reservas o pedidos, en la siguiente gráfica se muestra que en promedio, considerando los 4 meses se mueven alrededor de 394 repuestos livianos y 23 de pesados en un día normal de trabajo. Es un flujo de materiales alto para sólo dos almacenistas y para las condiciones actuales de trabajo mencionadas anteriormente.

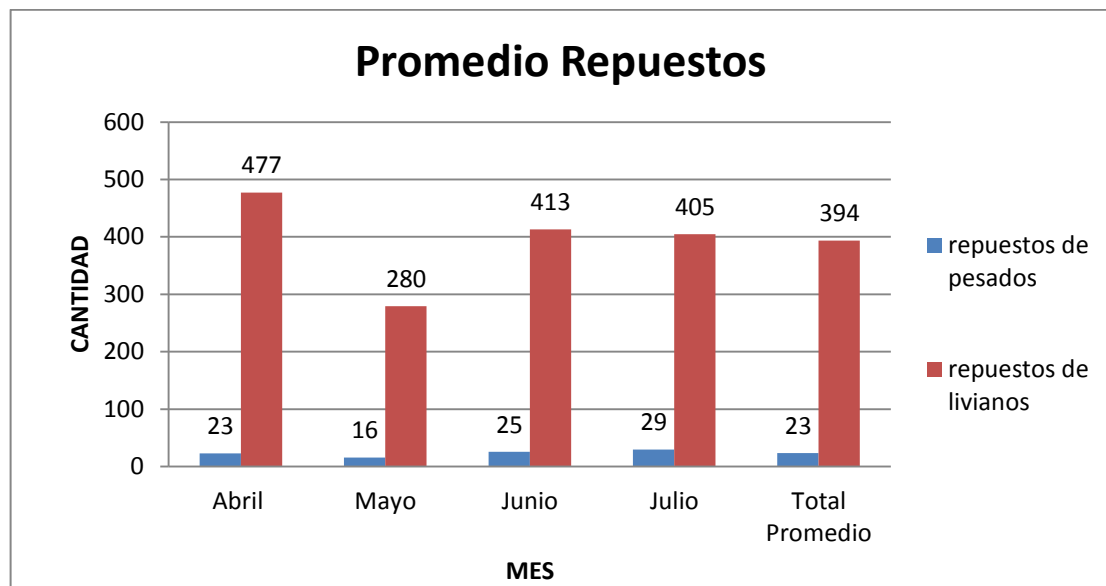


Figura 8 Promedio repuestos.

Diagrama de recorrido

En la siguiente imagen se representa el plano del almacén de livianos, el cual cuenta con 19 bloques de estanterías, las cuales están demarcadas desde 4001 hasta 4019 y están distribuidos por consideración del almacenista.

Se realiza un diagrama de recorridos y se observa mediante líneas, el desplazamiento que los almacenistas deben hacer para cumplir una reserva, aquí se destacan los recorridos más extensos que realiza el almacenista para recolectar ítem clase A, dada la irregularidad de la forma y disposición del almacén, esto hace que existan varios recorridos considerables para su tamaño; los cuales están enumerados en la *figura 9* y estos son:

1. Cuando se dirigen desde la ventanilla de recepción de reservas o despacho hacia la estantería 4015-05 que tiene una distancia de 21 metros
2. El viaje a la estantería la 4010-04 con un desplazamiento de 19,7 metros.
3. La estantería en el cuarto que se desprende de la mitad del almacén; esta es la 4018-02 con 18,33 metros.
4. Por último el recorrido hacia la estantería 4019-02 que tiene 17.9 metros.

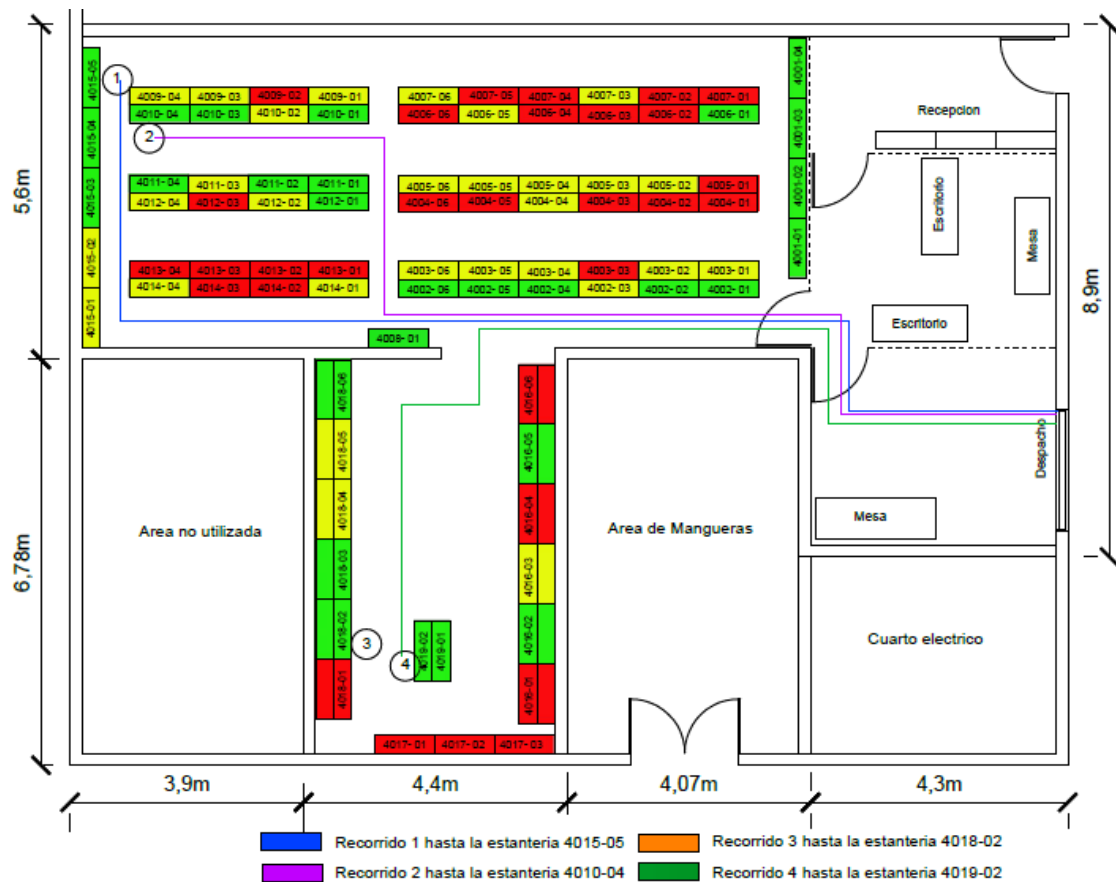


Figura 9 Diagrama de recorridos y clasificación ABC de la distribución actual. Elaboración propia.

En la *figura 9* además del diagrama de recorridos también se observa como están distribuidos los repuestos según su rotación; los repuestos clase A están marcados de color verde, los clase B de color amarillo y los clase C de color rojo. De acuerdo a la clasificación se muestran las ubicaciones con más frecuencia de visita dentro del almacén de livianos, al relacionar esto con las posibles distancias que deben recorrer los almacenistas para recoger los repuestos, se aprecia que, por ejemplo el almacenista puede hacer un desplazamiento de 21 metros para recolectar repuestos clase A (4015-05 ver figura 9), este recorrido puede ser disminuido si los repuestos con más rotación estuvieran más cerca del punto de despacho, como lo hicieron Cardona, Castro y Estrada (2011), los cuales lograron una mejora del 24,63% del tiempo de recolección con la configuración propuesta.

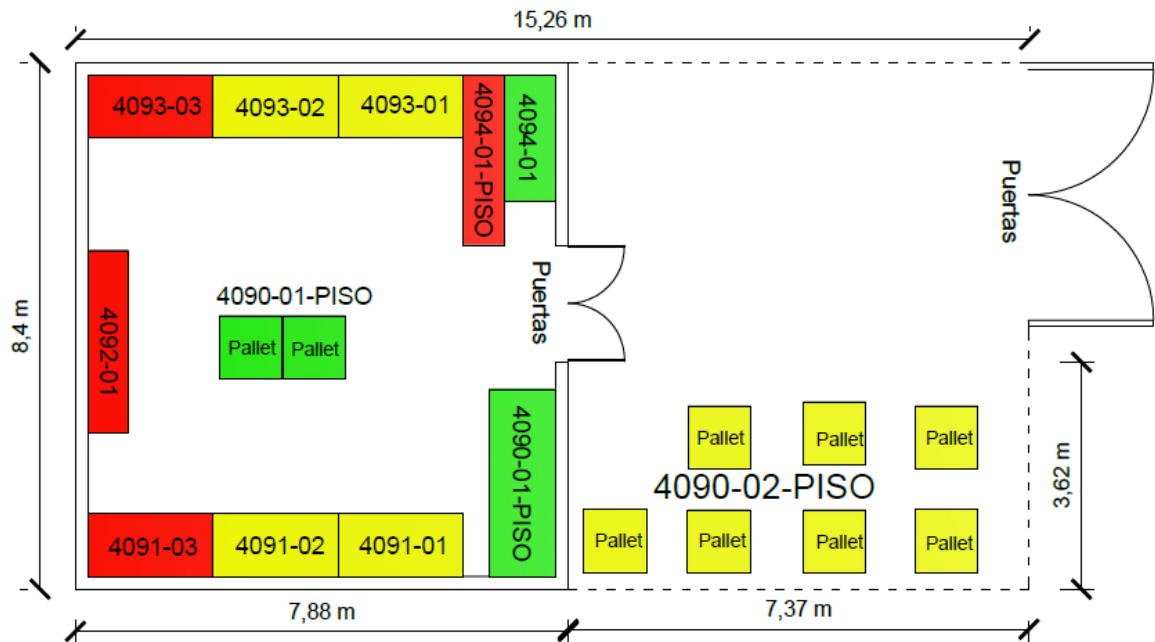


Figura 10 Clasificaciones ABC almacén de pesado distribución actual. Elaboración propia.

Tabla 4 Tiempos de desplazamiento entre almacenes.

Tiempo de desplazamiento desde el almacén de repuestos livianos hasta el almacén de pesados.		
Ida	2:31	minutos
Vuelta	2:31	minutos
Total	5:02	minutos

Fuente: Elaboracion propia

En la tabla 4 se presenta el tiempo de caminata entre un almacén y otro, el cual es de 5 minutos y 2 segundos, al relacionar este tiempo de recorrido con las reservas de pesados promedio al día (5 reservas) de este tipo de repuestos; que dicho de otra forma son las veces que el almacenista hace la recolección en la ubicación de pesados; se muestra que en promedio tarda 25 minutos por día desplazándose, variable que afecta al tiempo de recolección y consecuentemente al tiempo de reacción del almacén.

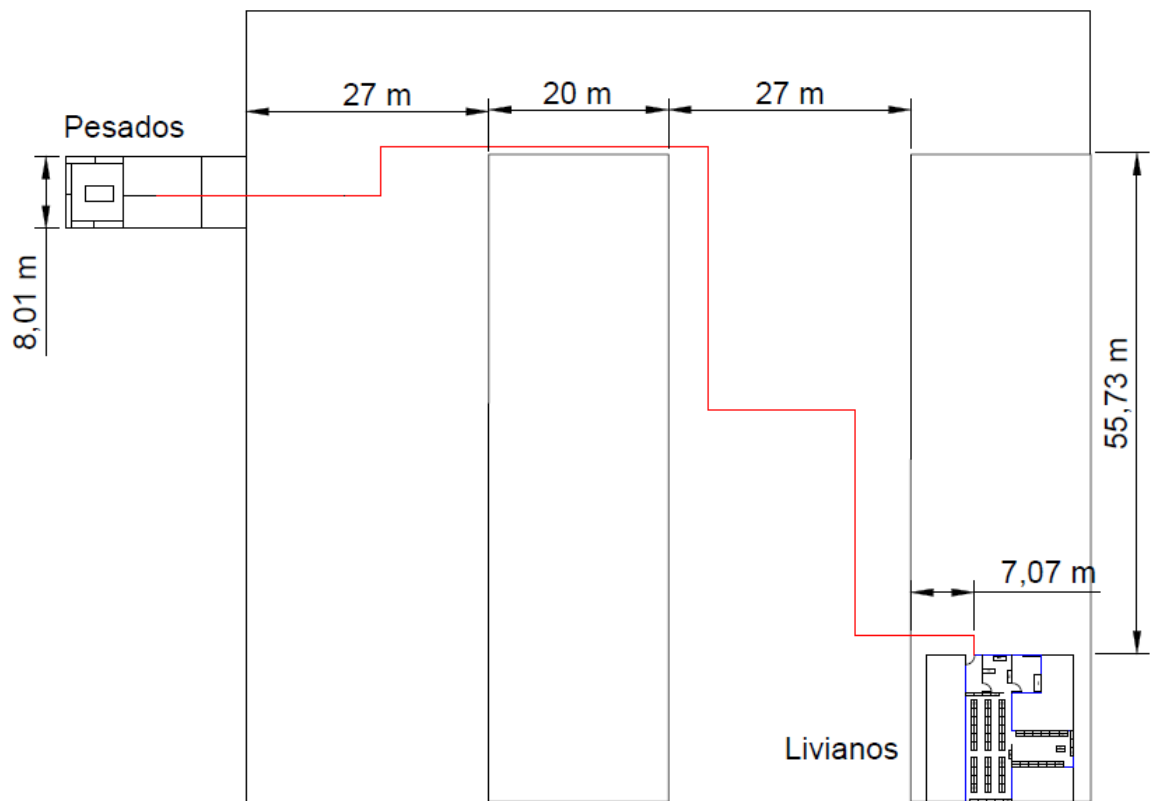


Figura 11 Representación de la distancia entre las ubicaciones que componen el almacén de repuestos. Elaboración propia.

La distancia recorrida por los almacenistas, es 322 metros de ida y vuelta, la cual transitan cada vez que llega una reserva que contenga artículos pesados, se puede apreciar en la *figura 11*, el amplio tramo entre un almacén y otro, cuyo tiempo de caminata es de 5 minutos; en cuanto a la recolección en este almacén el tiempo varía dependiendo del repuesto a extraer, por ejemplo un material que puede manipular el almacenista su recolección está entre 5 - 8 minutos, pero si se requiere de un equipo de apoyo como montacargas, el cual sólo hay uno disponible para todo el taller, va a tardar más de 10 minutos. Pero lo que se quiere dar a entender, es que sólo el desplazamiento conlleva un esfuerzo para el almacenista, además de tiempo adicional para completar la recolección.

En síntesis el almacenista debe recorrer un promedio de 1610 metros al día para realizar recolección de ítems pesados del almacén. Además de los recorridos internos dentro del almacén de livianos mostrados en el diagrama de recorrido (ver *figura 9*), donde el recorrido más extenso para una ubicación es de 21 metros y 7 metros el menor desplazamiento. También se observa en la *figura 3* que algunos pasillos no cuentan con el espacio suficiente para el libre desplazamiento del

operario y adicional la forma irregular de este almacén hace que las distancias recorridas se aumenten haciendo caminatas innecesarias.

Finalmente despues de analizar el proceso de alistamiento de ordenes actual se identifican factores que son claves para el rendimiento del almacén de acuerdo a sus características, estos son: la distribución fisica, los equipos de manipulación, la mano de obra, la cantidad de las reservas y la densidad de las mismas. se concluye que el desplazamiento entre la ubicaciones de pesados y livianos es donde se genera mas recorridos excesivos, esto ocurre por la gran distancia que hay entre un punto y otro, es decir que la distribución fisica del almacén no es adecuada, la disposicion los estantes del almacén de livianos y la dimensión de sus pasillos no permite la libertad de movimiento del almacenista, combinado con la distribución actual de los repuestos y la densidad de las reservas hace que se realicen una gran cantidad de recorridos innecesarios; como por ejemplo uno de los que se muestra en el diagrama de recorridos, donde el recolector se desplaza por un item clase A; esto muestra la importancia de desarrollar una propuesta la cual busque minimizar los largos desplazamientos en la recolección de lo repuestos. Adicionalmente para la recolección actual que se desarrolla en el almacén, no hay una politica la cual estandarice la forma de llevarla a cabo por parte de los almacenistas; es decir que los recolectores recuperan los repuestos de la manera que ellos lo consideran; esto es una oportunidad para proponer una metodologia que posibilite una mejora conjunta con la distribución fisica del almacén.

8. RESTRUCTURACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN FÍSICA

La restructuración física del almacén es necesaria porque las condiciones de trabajo actuales no son las mejores, por ejemplo la forma irregular del almacén y el poco espacio son algunas de las consideraciones que se tomaron en cuenta para llevar a cabo este objetivo. Adicionalmente, esta distribución propuesta está limitada a la disponibilidad del espacio actual del almacén, utilizando áreas subutilizadas.

Teniendo en cuenta las consideraciones, características y condiciones reales del almacén y para luego definir una metodología acorde, se propone una nueva distribución física como complemento, a las actividades como almacenamiento, recolección y despacho; donde se unifiquen las dos ubicaciones que generan extensos recorridos para el almacenista y también para que los pasillos cuenten con mínimo 1,2 metros de ancho, y las estanterías estén dispuestas de manera que contribuya a su libre movimiento, aprovechando así el espacio actual del área donde se encuentra el almacén de repuestos livianos, rodeado por dos habitaciones actualmente inutilizadas (ver figura 3), de las cuales se puede sacar provecho, reasignando los espacios y haciendo modificaciones las cuales ahorran áreas subutilizadas que pueden ser de mayor provecho si son utilizadas de manera adecuada.

La distribución física del almacén propuesta a continuación en la siguiente imagen, cuenta con un área de 194 m² con dos bloques principales de estanterías, pasillos de 1,2 metros de ancho, el mínimo recomendable para almacenes pequeños, pasillo de cruce central para mejorar el movimiento dentro del almacén, esto tomando en cuenta autores como Roodbergen (2008), que llega a la conclusión que una configuración de almacenamiento con múltiples bloques es mucho más efectiva que una configuración con un simple bloque y Dukic y Opetuk (2012) que en su revisión de la literatura, afirman que uno o más pasillos de cruce mejoran la movilidad del operario dentro del almacén. Además se tuvo en cuenta las estanterías de fondo doble que se deben ubicar contra la pared, el área de despacho de repuestos pesados es distinta a la de livianos, y se aprovecha una puerta que actualmente ya existe, donde el vehículo de carga puede esperar; también se contempla el ancho de pasillos de mínimo 2.5 metros, que es necesario para el movimiento de repuestos de gran tamaño, esto de acuerdo al montacargas disponible actualmente en el almacén.

La recepción de repuestos, se consideró ubicarla cerca de la puerta de despachos de pesados para facilitar la entrada y agilizar el proceso. También los escritorios

de los almacenistas están cerca de la ventanilla de despacho de livianos para una atención rápida a los clientes que llegan con reservas.

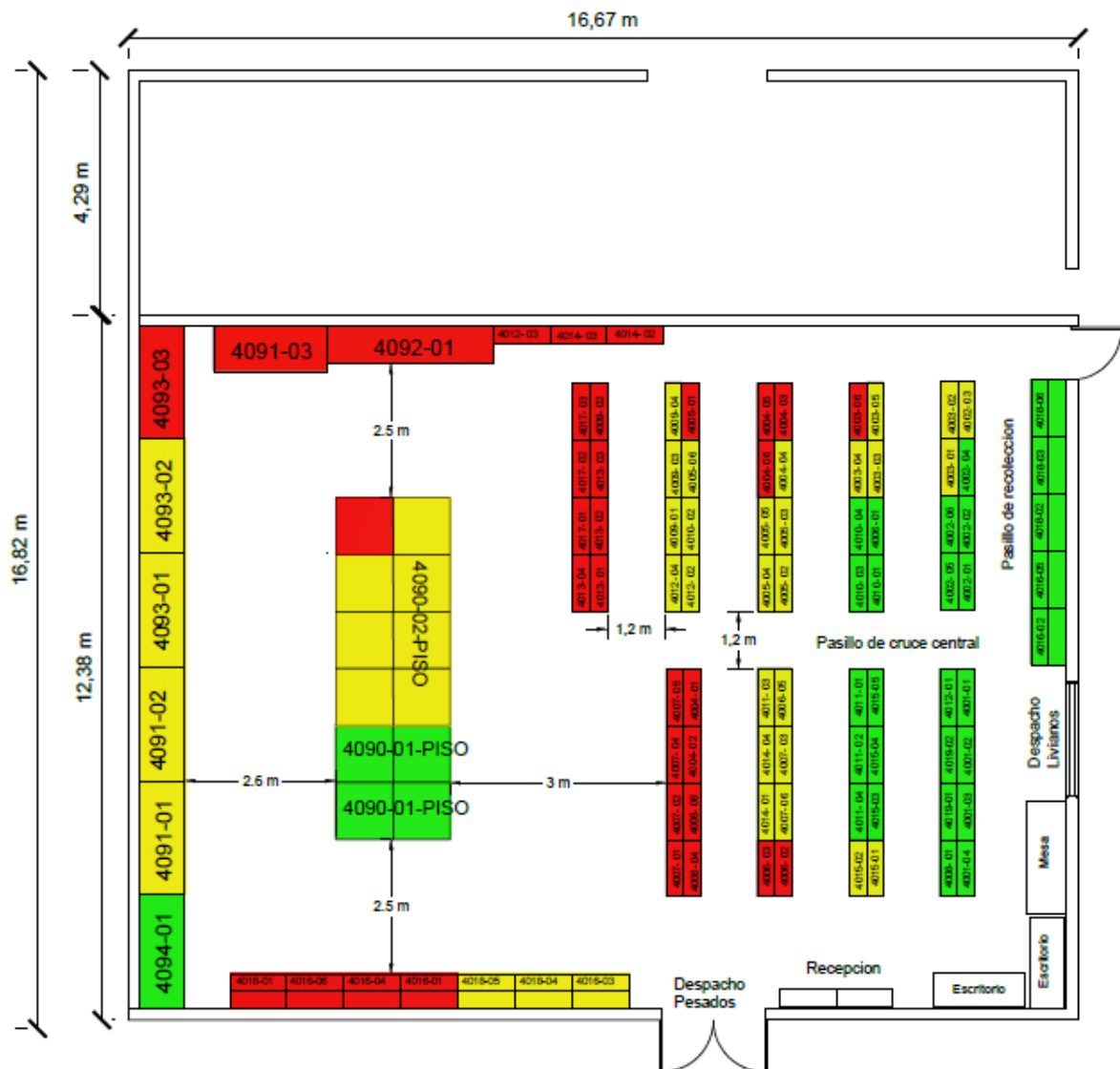


Figura 12 Restructuración de layout. Elaboración propia.

Tomando la clasificación ABC basada en la frecuencia de visita (ver el anexo 1 y 2), pero respetando los grupos de repuestos por marca y afines para evitar generar confusiones en el recolector se dividieron en dos las clasificaciones una

para los pesados y otra para los livianos debido a que los puntos de despachos y las características de almacenaje y manipulación son distintos.

Tabla 5 Clasificación ABC almacén livianos.

GRUPOS	RESERVAS	FREC. REL	FREC. ACUM	CLASIFICACION
Tornillería y Afines	714	15.97%	15.97%	A
John Deere	703	15.72%	31.69%	
Case	625	13.98%	45.66%	
Eléctrico Maquinaria	535	11.96%	57.63%	
Ferretería	302	6.75%	64.38%	
Caterpillar	219	4.90%	69.28%	B
Cameco	170	3.80%	73.08%	
Eléctricos Fabrica	158	3.53%	76.61%	
Soldaduras	148	3.31%	79.92%	
Kenworth T800	139	3.11%	83.03%	
Game	102	2.28%	85.31%	
Mangueras Conexiones	87	1.95%	87.25%	
Implementos Cosecha	85	1.90%	89.15%	
Rodamientos	65	1.45%	90.61%	
Freightliner	55	1.23%	91.84%	C
Nissan	47	1.05%	92.89%	
Seguridad Industrial	38	0.85%	93.74%	
Implementos Agrícola	38	0.85%	94.59%	
Montacargas Toyota	36	0.81%	95.39%	
Herramientas	30	0.67%	96.06%	
Empaquetaduras	26	0.58%	96.65%	
Toyota	25	0.56%	97.20%	
Bandas Y Correas	21	0.47%	97.67%	
Lubricación	19	0.42%	98.10%	
Maquinaria Agrícola Y Automotriz	11	0.25%	98.35%	
Montacargas Nissan	11	0.25%	98.59%	
Sello Reten	9	0.20%	98.79%	
La Cane	9	0.20%	98.99%	
Aseo Y Cafetería	6	0.13%	99.13%	
Grúa Grove	5	0.11%	99.24%	
Riego Equipos	5	0.11%	99.35%	
Cadenas Cables Afine	4	0.09%	99.44%	
Transmisión Mecánica	3	0.07%	99.51%	
Implementos Varios	3	0.07%	99.58%	
Combustible Maquinaria	3	0.07%	99.64%	
New Holland Tractor	3	0.07%	99.71%	
Ground Master	2	0.04%	99.75%	
Válvulas y Accesorio	2	0.04%	99.80%	
Tubería y Accesorios	2	0.04%	99.84%	
Equipos Hidráulicos	2	0.04%	99.89%	
Chevrolet	2	0.04%	99.93%	
Bombas	2	0.04%	99.98%	
Filtros Maquinaria	1	0.02%	100.00%	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 12 los repuestos con más visitas son los pertenecientes al grupo de tornillería y afine; puesto que estos repuestos son de uso general para toda la maquinaria disponible; seguido de repuestos marca John Deere, Case, Eléctrico maquinaria; que están asociados lo estos dos grupos anteriores; y Ferretería que es de uso común.

Tabla 6 Clasificación ABC pesados.

GRUPO	FRECUENCIA	FREC REL	FREC. ACUM	CLASIFICACIÓN
John Deere	164	32.80%	32.80%	A
Soldaduras	119	23.80%	56.60%	
Eléctrico Maquinaria	72	14.40%	71.00%	
Implementos Cosecha	63	12.60%	83.60%	B
Caterpillar	23	4.60%	88.20%	
Implementos Agrícola	16	3.20%	91.40%	
Kenworth T800	10	2.00%	93.40%	C
Case	10	2.00%	95.40%	
Mangueras Conexiones	7	1.40%	96.80%	
Nissan	5	1.00%	97.80%	
Game	5	1.00%	98.80%	
Filtros Maquinaria	3	0.60%	99.40%	
Construcción	1	0.20%	99.60%	
Implementos Varios	1	0.20%	99.80%	
Cameco	1	0.20%	100.00%	

Fuente: Elaboración propia.

En el almacén de pesado la cantidad de repuestos es considerablemente menor pero requieren mucho espacio para ser almacenada. Los repuestos que se solicitan con más frecuencia son de marca John Deere, que son las cuchillas y estas son muy pesadas y se necesita ayuda para moverlas, seguido están las baterías.

9. ESTABLECIMIENTO DE METODOLOGIA DE RECOLECCIÓN DE PEDIDOS

Para este objetivo, el cual busca elegir y proponer una metodología que mejore el proceso de recolección, se definirán distintas alternativas planteadas por otros autores con sus principales atributos, (ventajas y desventajas), de las cuales se elegirá la que logre adaptarse mejor a las características del almacén descritas en el primer objetivo.

Recolección por lotes

De acuerdo a De Koster et al (2007) es un método donde se agrupa un conjunto de órdenes en un número de subconjuntos, cada uno de los cuales puede ser recuperado en un simple viaje de recolección. Esto quiere decir que los ítems en común de diferentes órdenes son recogidos al tiempo y separados en sus respectivas órdenes después del picking.

Cuenta con dos criterios los cuales son la *proximidad de las ubicaciones* y las *ventanas de tiempo* esto según Choe y Sharp (1991), la proximidad de las ubicaciones asignan cada pedido a un lote basado en la proximidad de la ubicación de almacenamiento con respecto a otras órdenes. Las ventanas de tiempo de la recolección por lotes, donde las órdenes llegan en el mismo intervalo de tiempo (fijo o variable) de esta forma son agrupadas como un lote.

Tabla 7 Recolección por lotes.

Ventajas	Desventajas
Roodbergen (2001) la longitud de la ruta necesaria para recolectar el lote de ordenes es más corta que la suma de las rutas, si las ordenes son recogidas individualmente.	Se vuelve complicado cuando las órdenes llegan en línea.
Según Mora (2011) Evita las aglomeraciones en los pasillos que se producen con la preparación de pedidos tradicional cuando varios operarios desean coger un mismo producto a la vez. Los pedidos se clasifican y consolidan por pedido/destino automáticamente, lo que reduce el trabajo manual.	Requiere espacio para su implementación. Dado que hay que disponer una zona para acumular y alistar los ítems.
Facilita la recolección de altos volúmenes de pequeñas órdenes. Es decir muchas ordenes pero con poca cantidad de ítems.	Necesitan de vehículos especializados para la recolección.
Las órdenes pueden ser clasificadas a medida que van recolectando. "Esto es llamado sistema de clasificar mientras recoge". Roodbergen (2001)	Todas la recogen juntas y luego deben ser separadas en sus respectivas ordenes de los clientes.

Fuente: Elaboración propia

Recolección por zonas

“Es un método para dividir el total del área de preparación de pedidos en pequeñas unidades, los recolectores sólo recuperan productos ubicados en su zona” Roodbergen (2001). Es una alternativa a la recolección de pedidos básica; en la que cada recolector completa totalmente una orden; donde el área de preparación de pedidos puede ser dividida en zonas y cada recolector es encargado de recoger la parte de la orden (ítems) que están asignados en su zona de recolección.

Una desventaja de la recolección por zonas es que las órdenes son divididas y deben ser consolidadas antes del despacho. Roodbergen (2001) describe dos enfoques; uno es el *ensamblaje progresivo*, el cual consiste en que, el recolector recupera los ítems correspondientes a su zona y luego lo pasa con lista de recolección al siguiente recolector. Esto también llamado *sistema de recoger y pasar*. El otro enfoque es la *recolección por zonas en paralelo*, esto es, que los recolectores preparan al tiempo una misma orden cada recolector en su zona y luego la orden es unida al final de la recolección. Según De Koster y otros (2007) esta es una metodología que ha tenido poco interés para investigaciones, ya que los autores son atraídos por los sistemas de preparación de pedidos automatizados.

Tabla 8 Recolección por zonas.

Ventajas	Desventajas
Hace que todos los recolectores del almacén estén trabajando todo el tiempo.	Necesita mucho espacio para ser implementada en el almacén y también requiere un importante cambio en las configuraciones del layout.
Puede tener dos enfoques, el ensamblaje progresivo y la recolección en paralelo.	Cada orden es dividida y recolectada por separado, y luego consolidadas antes del despacho al cliente.
Entrega buenas soluciones para la reducción de tiempos en almacenes con órdenes muy dispersas y de grandes cantidades de ítems.	Necesita grandes cantidades de personal.
Facilita la recolección de grandes volúmenes de órdenes y también grandes cantidades de ítems.	

Fuente: Elaboración propia.

Bucket brigades

Brigadas de cubo son una nueva forma de compartir el trabajo entre los recolectores en un almacén de modo que las estadísticas del flujo de los pedidos provocan una espontánea asignación de trabajo para equilibrar el esfuerzo. Bartholdi III (1996b). Esta metodología basada en la forma que antiguamente se apagaban los incendios, antes de la llegada de los camiones de bomberos; donde se realizaba una cadena humana en la que se pasaban los cubos de agua optimizando el tiempo y reduciendo el esfuerzo empleado en ello; consiste en organizar los recolectores del almacén desde más lento al más rápido, siguiendo la línea de flujo de producto, entonces un recolector recoge la mayor cantidad de ítems posibles, hasta que se encuentra con el siguiente recolector, al cual entrega el trabajo y así sucesivamente hasta llegar al último recolector de la línea para completar una orden.

La metodóloga ha sufrido bastantes variaciones a lo largo del tiempo como la combinación entre zone picking y el Bucket brigades por Koo, Pyung-hoi (2009), el *cellular Bucket brigades* Lim, Yun fong (2011), entre otras (ver el estado del arte), las cuales demuestran su flexibilidad a los diferentes enfoques.

Tabla 9 Bucket brigades.

Ventajas	Desventajas
Genera un auto balanceo del proceso de recolección y disminución de la carga de trabajo.	Necesita buena cantidad de personal.
No requiere cálculos computacionales y decrece la supervisión administrativa.	Es poco efectivo en centro de distribución con bajos volúmenes de pedidos.
Aumenta la flexibilidad del proceso de recolección.	Requiere una cuidadosa asignación basada en las habilidades del personal.
Disminuye los viajes de recolección.	Se ve afectada por el comportamiento del recolector y requiere un cambio de cultura.
Aumenta la productividad del recolector.	

Fuente: Elaboración propia.

Ruteo óptimo

El problema del agente viajero (TSP) es un famoso problema de optimización combinatorial, que Lawler (1995) define como un problema fácil de describir y

difícil de resolver. De Koster (2007) dice que el TSP clásico tiene muchas similitudes con los recorridos del recolector de pedidos en el almacén, el cual va desde su punto de origen (deposito) hasta diferentes nodos (estanterías) una sola vez para terminar el recorrido en el punto de inicio nuevamente, encontrando la ruta más corta para visitar cada nodo, donde la principal diferencia es que a diferencia del TSP clásico con la situación del recolector en el almacén es que en el modelo clásico todas las ciudades (nodos) son visitadas, pero en el modelo aplicado al almacén hay puntos en blanco que no son visitados, llamados puntos de cruce entre pasillos, clasificado como Stainer-TSP o STSP por Cornuéjols et al (1985).

Tabla 10 Ruteo Óptimo.

Ventajas	Desventajas
Genera la solución óptima para cualquier situación y tipo de almacén	Puede llegar a proponer rutas difíciles de seguir para los recolectores
Funciona con cualquier tipo de distribución de layout en el almacén	El tiempo de recolección se ve afectado al aumentar el volumen de recolección sujeto a errores humanos
No requiere de una gran cantidad de operarios para resultar efectiva	Poco flexible a desviación de la ruta de recolección
Es adaptable a distintos escenarios de la realidad.	El tiempo computacional de solución podría no ser eficiente.
Da soluciones rápidas según el algoritmo de programación.	

Fuente: Elaboración propia

Ruteo heurístico

Las políticas de ruteo heurístico son las más comúnmente utilizadas en la práctica, para encontrar buenas soluciones, fáciles de implementar y memorizar como lo evidenció Elbert et al (2016) por medio de entrevistas a operarios y administradores de un almacén, como alternativa al ruteo óptimo. Los heurísticos más populares implementados para el ruteo en almacenes son:

Transversal o en forma de S

En esta política el recolector entra a un pasillo con al menos un ítem que necesita ser recolectado y lo atraviesa totalmente y luego entra al siguiente que contenga al

menos un ítem que deba ser recogido, así consecutivamente hasta que termina, por su simplicidad es la política más utilizada según Roodbergen et al (2008).

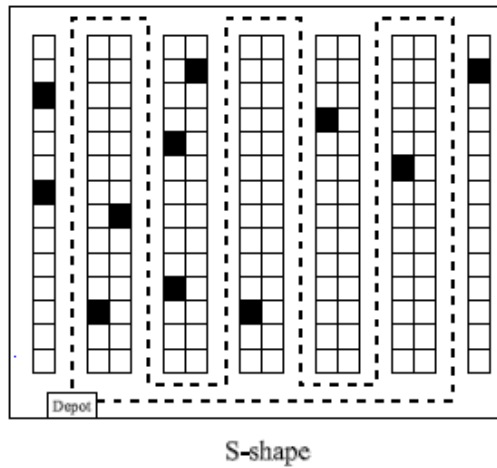


Figura 14 Política transversal o forma de S. Fuente: Roodbergen (2001).

Política de retorno

El recolector siempre entra y sale por el mismo lado del pasillo y solo entra en los pasillos que requieren ser visitados.

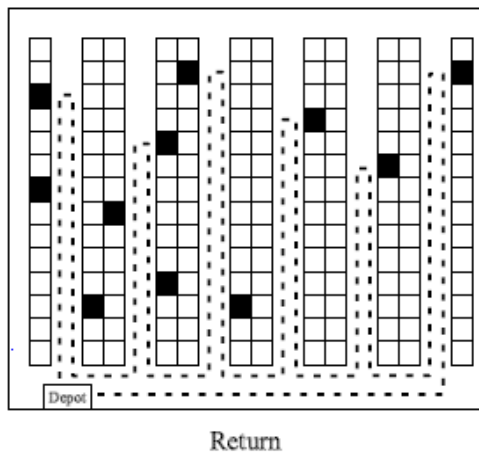


Figura 15 Políticas de retorno. Fuente: Roodbergen (2001).

Política de punto medio

Los pasillos son divididos en dos partes iguales el recolector entra hasta la mitad de los pasillos de ida por un lado y entra por la otra mitad.

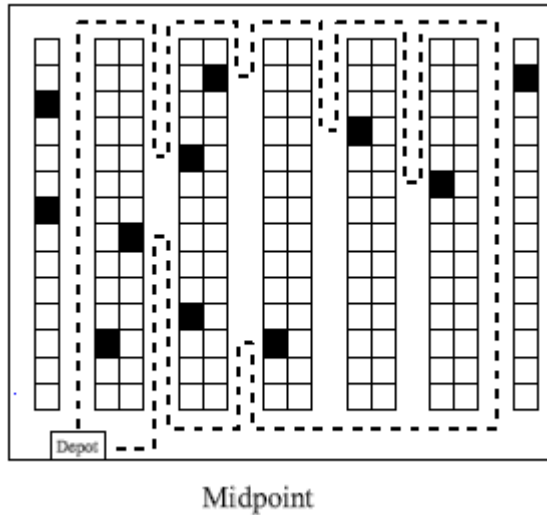


Figura 16 Política de punto medio. Fuente: Roodbergen (2001).

La brecha más larga

Esta política es similar a la del punto medio, la diferencia es que no divide los pasillos en dos si no que va hasta el ítem más lejano del pasillo y regresa.

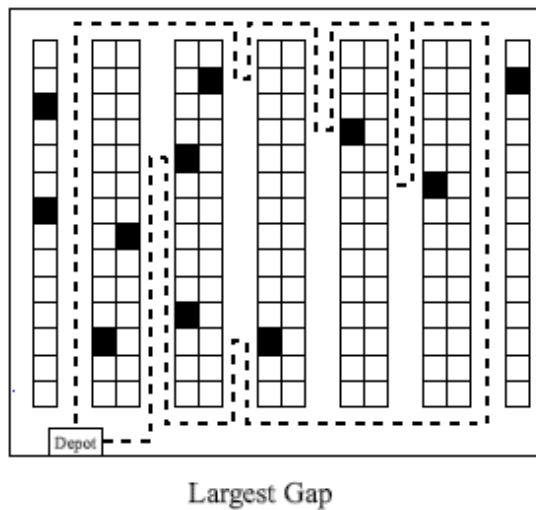


Figura 17 Política brecha más larga. Fuente: Roodbergen (2001).

Política compuesta

La política compuesta es una combinación entre la de retorno y la transversal o en S en la que el recolector decide si atravesar completamente el pasillo o regresar por donde entro y solo considera dos pasillos adyacentes.

Política combinada

Al igual que la compuesta hace una mezcla entre la transversal y la de retorno, pero esta difiere en que no solo tiene en cuenta dos pasillos adyacentes sino todo el bloque de almacenamiento.

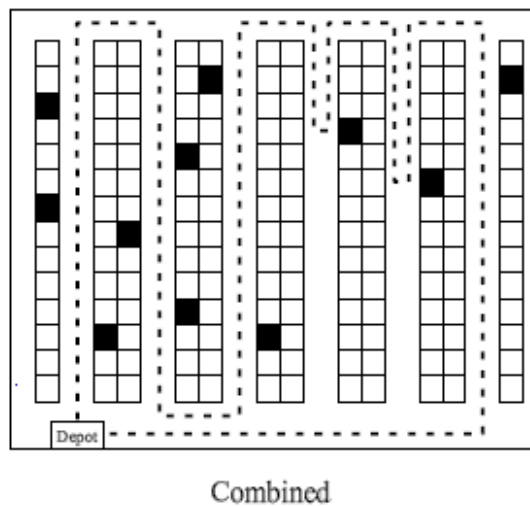


Figura 18 Política combinada. Fuente: Roodbergen (2001).

Tabla 11 Ruteo heurístico.

Ventajas	Desventajas
Encuentra buenas soluciones para disminuir los tiempos de recolección de pedidos.	No es posible encontrar soluciones óptimas mediante estos heurísticos.
Fáciles de aprender y de seguir por los recolectores.	Presenta caminatas innecesarias para bajos volúmenes de recolección.
Son fácilmente adaptables a diferentes tipos de almacenes y distribuciones.	
Son flexibles a las desviaciones de ruta de los recolectores.	

Fuente: Elaboracion propia

Por medio de una matriz se evaluarán las metodologías encontradas en la literatura para el mejoramiento del proceso de alistamiento de órdenes cuyo objetivo en común es la reducción de la distancia de los viajes en la recolección de las órdenes; donde muchas de sus aplicaciones y extensiones se muestran en el estado del arte de este documento.

Los factores claves analizados en el primer objetivo los cuales fueron la distribución física del almacén y la configuración del mismo, esto porque no cuenta con la condiciones de trabajo mínimas al igual que los equipos de manipulación que son muy escasos, además se tomaran en cuenta factores necesarios para la implementación de alternativas y que tanto se acoplan con la realidad del almacén actual, los factores a tener en cuenta son los siguientes:

Layout: La manera en la cual están dispuestos en el almacén, (Pasillos, estanterías y almacenamiento) y la manera en la que el tipo de distribución que propone la metodología puede o no ser aplicada con éxito al almacén caso de estudio.

Espacio de almacenamiento: El área disponible y cantidad de espacio que se puede utilizar de ser requerida, y si la cantidad de espacio actual es efectiva para tener soluciones con cada metodología.

Mano de obra: La cantidad de obreros necesarios, y que tanto se puede acondicionar con la cantidad actual de almacenistas disponibles en este caso de estudio.

Equipos de apoyo: Se refiere a la necesidad de utilización de equipos de manipulación para la recuperación en cada una de las alternativas, donde se evalúa la situación actual que para la recolección de ítems “livianos” no se cuenta con la capacidad ni el espacio para utilización de equipo de apoyo.

Volumen de ítems por pedido: En este criterio se tiene en cuenta que tan efectivo es según la variabilidad del volumen ítems (cantidad por reserva) para el buen rendimiento de la alternativa, considerando la alta variabilidad del volumen de ítems por reserva.

Cantidad de órdenes: Se toma en cuenta para esto la capacidad de cada metodología para ser aplicada según la cantidad de reservas, y si se ve afectada por cambios en la cantidad de órdenes recibidas.

Aplicabilidad: Este factor es sencillo pero importante, ya que este se refiere a la facilidad de aplicación de cada alternativa a distintos espacios y configuraciones, y

da la pauta para afirmar que tan adaptable es realmente y que tan fácil es de aprender para los almacenistas en cualquier situación.

La matriz consiste en comparar las metodologías de recolección de pedidos con respecto a los factores claves definidos de acuerdo a las necesidades del almacén objeto de estudio, esta se puede observar a continuación:

Tabla 12 Matriz de comparación.

Método	Layout	Espacio del almacén	Mano de obra	Equipos de manipulación	Volumen de ítems	Cantidad de ordenes	Aplicabilidad
Recolección por zonas	NA	NA	NA	NA	NA	A	A
Recolección por lotes	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Bucket brigades	A	A	NA	A	NA	NA	NA
Ruteo óptimo	A	A	A	A	A	A	NA
Métodos de ruteo heurístico	A	A	A	A	A	A	A

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las características del almacén (cantidad de operarios, tamaño, disposición de pasillos y estanterías, herramientas de manipulación, rotación de los repuestos, cantidad y densidad de las ordenes) se considera que las políticas de ruteo heurístico es la metodología que aplica de manera más adecuada para dar solución al problema minimización de distancias encontrado en almacén; puesto que, definir una política de ruteo sobre la cual los almacenistas realicen la recolección de los repuestos, va a estandarizar el trabajo, además estas políticas se adaptan a cualquier layout o configuración del almacén, y no es indispensable el uso de equipos de manipulación en la mayoría de los casos, adicionalmente este no requiere de aumentar la disposición de personal. Estas políticas tienen la ventaja, que de acuerdo a la cantidad de órdenes y la densidad de las mismas se pueda elegir la que más convenga al almacén.

La metodología que mejor se acomoda a las necesidades y características del almacén caso de estudio es el ruteo heurístico, que básicamente es una política para la recolección de los repuestos que los recolectores deben seguir,

específicamente se elige la *política combinada* (ver figura 16), la cual es extendida en la tesis de posgrado de Roodbergen (2001), esta se elige por las siguientes razones:

- Los pedidos del almacén son variables y requieren que el recolector pueda decidir si atravesar completamente un pasillo que contenga al menos un repuesto o regresar por el mismo lado por donde entro y salir para desplazarse a la siguiente ubicación dentro de otro pasillo.
- Dada la configuración del almacén desarrollada en el segundo objetivo, porque esta permite los movimientos de la política transversal y la de retorno (ver figura 8 y 9 respectivamente) generando buenas rutas para recolector.
- Otro punto por la que se decide utilizar la *política combinada*, en lugar de la compuesta por que esta permite la política transversal y la de retorno para todos los bloques del almacén, a diferencia de la compuesta que solo permite utilizar las dos políticas en dos pasillos adyacentes.
- La aplicabilidad es un factor clave, ya que estas políticas permiten, tanto ser modificadas con cambios simples para cada ruta distinta y genera recorridos fáciles de los cuales solo se necesita el sentido común del operario para completar la recolección de una orden.
- En cuanto a la optimización de distancia, el modelo matemático mejorado que presenta Sholz et al (2016) entrega rutas optimas pero que no son aplicables en la realidad debido a lo rigurosa planeación e implementación de tecnología para hacer exitosa esta propuesta, como contraste, el heurístico no presenta esta debilidad, ya que más que un modelo es una política o norma de recolección, que además toma en cuenta rutas cortas y en resumen se convierte en una ruta generada por experiencia, la cual genera buenos resultados y puede ser aplicada en diferentes modelos de almacenes y distribuciones. Ver el Anexo 3 el modelo matemático para el almacén caso de estudio

A continuación se explica el comportamiento del heurístico de ruteo combinado, el cual es propuesto para realizar la recolección de los repuestos en el almacén caso de estudio con la restructuración física planteada en el segundo objetivo:

El heurístico combinado funciona de la siguiente manera: el recolector comienza en el punto de despacho del almacén, luego elige una ruta hacia donde éste el ítem más alejado a ser recogido en cualquiera de los bloques, va recolectando artículos en ese mismo bloque en la ida, después regresa y si se requiere recoger repuestos en el otro bloque cruza el pasillo central y hace la recolección, de lo contrario el recolector vuelve al punto de despacho. Al final el recolector debe llegar con los ítems incluidos en la orden para entregarlos al cliente.

Un ejemplo del funcionamiento del heurístico de ruteo combinado para el almacén se muestra en la siguiente imagen; donde el recolector inicia el viaje en el despacho de productos livianos, luego elige la ruta hacia el ítem más lejano (repuesto 2) de los bloques (un bloque se refiere al grupo de estanterías separadas por dos pasillos de cruce), pero recoge ítems (repuesto 1) en el camino en ese mismo bloque. Seguido se desplaza hacia el otro bloque para recoger ítems, si se requieren (repuesto 3) y después regresa hacia el punto de despacho, con esta estrategia en el ejemplo mostrado recorre un total de 30.57 metros en el viaje de recolección.

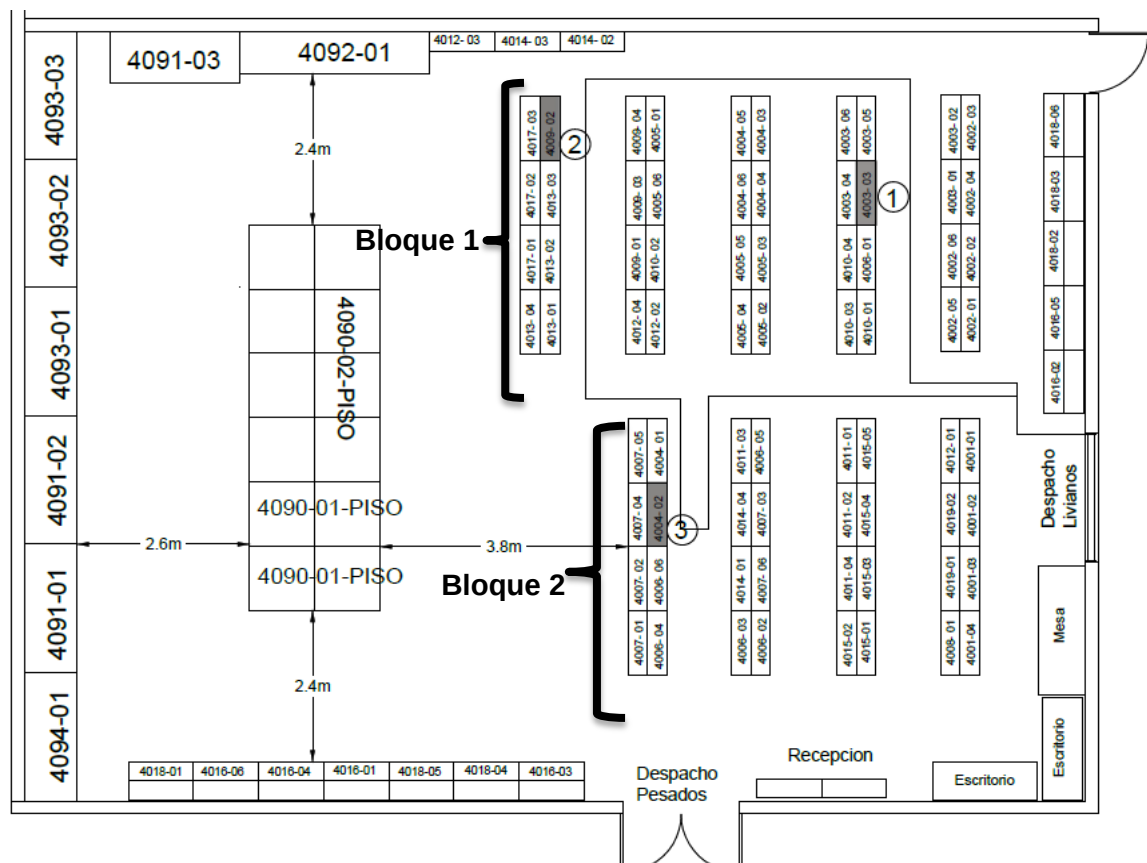


Figura 19 Ejemplo del heurístico combinado en el layout propuesto.

10. VALIDACION DEL METODO HEURÍSTICO

10.1. Comparación de la situación actual y la propuesta

Para el desarrollo de la propuesta, la cual comprende la restructuración del layout en dos bloques, las estanterías en paralelo, con un pasillo de cruce central y el deposito enfrente de este último, y la adición de una política de recolección heurística combinada, ya que ésta permite el fácil entendimiento y también es flexible a las desviaciones según el recolector lo considere factible; esto es que decida con respecto a la distancia, si atraviesa completamente el pasillo o regresa por el mismo para ir a la siguiente ubicación de recolección en otro pasillo, dándole esto la capacidad de empoderamiento a los recolectores, pero siguiendo una política estándar para hacer el proceso de recolección.

A continuación se realizaron algunos ejemplos para comprobar si la propuesta de mejoramiento del almacén cumple con su objetivo, al obtener reducción de la distancia recorrida en la recolección de los repuestos, teniendo en consideración el supuesto de que el recolector puede utilizar un equipo de apoyo y por lo tanto en ambas situaciones la cantidad de repuesto pasa a un segundo plano para esta comparación. Entonces para desarrollo de la validación se utilizaron pedidos registrados tanto en la situación actual, como también en la propuesta de mejora, donde se evaluaron las distancias en ambos escenarios y se encontraron los siguientes resultados:

Tabla 13 Comparación de recorridos por recolección entre la situación actual y la propuesta.

Recorrido	Cantidad de Ubicaciones	Distancia en la situación actual (metros)	Distancia en la situación propuesta (metros)	Porcentaje de reduccion.
1	12	46,7	39,6	15%
2	3	39,1	21,6	46%
3	7	53,5	33,9	36,6%
4	4	42,5	19,5	54,1%
5	9	57,2	43,2	24,4%
6	3	31	26,9	13,2%
7	1	38	24,4	36,4%
8	2	37,1	31,4	15,3%
9	4	52,8	33,4	36,7%
10	3	38,8	22,1	43%
11	1	38,7	22	43%
12	1	27,6	16	42%
13	2	39,1	25	36%
14	3	27,9	16,6	40%
15	2	43,6	41,6	4,5%
16	6	43,1	18,6	56,8%
17	1	36,9	11,1	69,9%
18	2	39,6	24,7	37,6%
19	3	45,5	26,7	38,6%
20	7	55,1	21,8	60,4%

Fuente: Elaboracion propia.

Recorrido 1

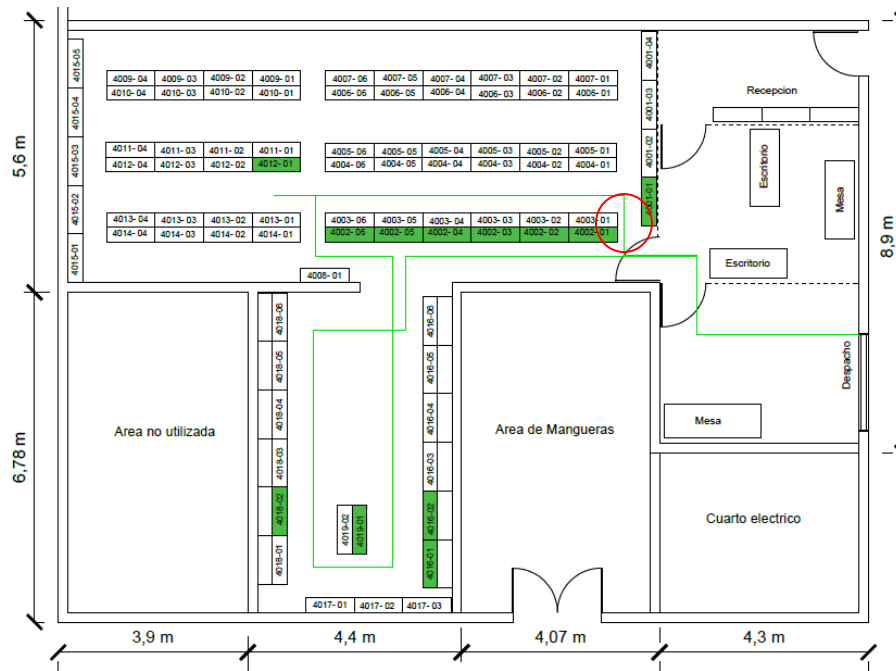


Figura 20 Recorrido 1 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia.

En la figura 20 se muestra un recorrido correspondiente a la recolección de un pedido promedio con ubicaciones de ítems con alta rotación, donde la distancia total recorrida por el almacenista para reunir el pedido es de 46,9 metros, teniendo en cuenta el criterio de recolección del almacenista para visitar cada ubicación. También se puede notar que el espacio para pasar por la estantería 4001-01 es muy estrecho y genera inconvenientes para el libre movimiento como se muestra en la figura con un círculo rojo.

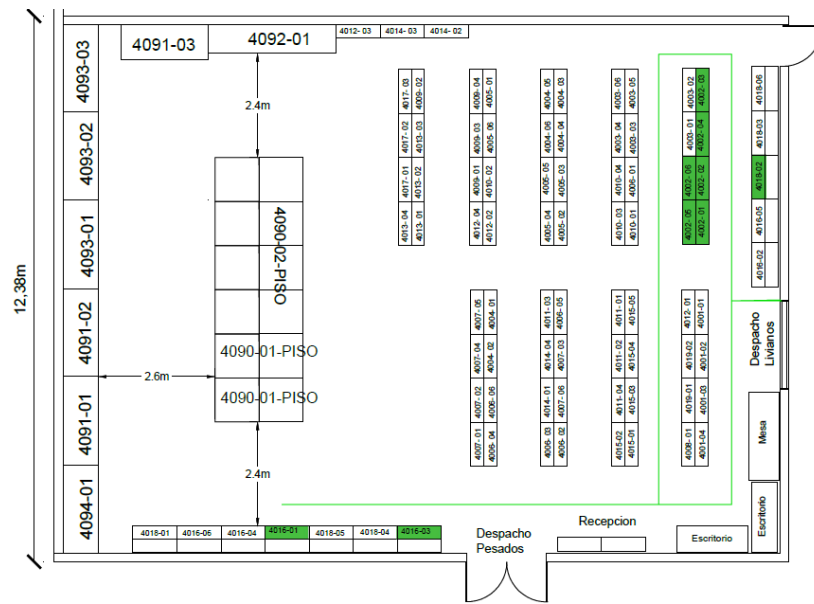


Figura 21 Recorrido 1 para un pedido situación propuesta. Elaboración propia.

Luego evaluar el recorrido de la misma orden con el layout propuesto y la política de recolección heurística combinada, cuyo resultado dio un recorrido de 39,6 metros, se puede ver que hubo una reducción del 15% de la distancia recorrida y se nota por medio del grafico que se simplifica la ruta haciendo fácil la recolección y dando libertad de movimiento entre pasillos para que el almacenista pueda desempeñar su labor con facilidad.

Recorrido 2

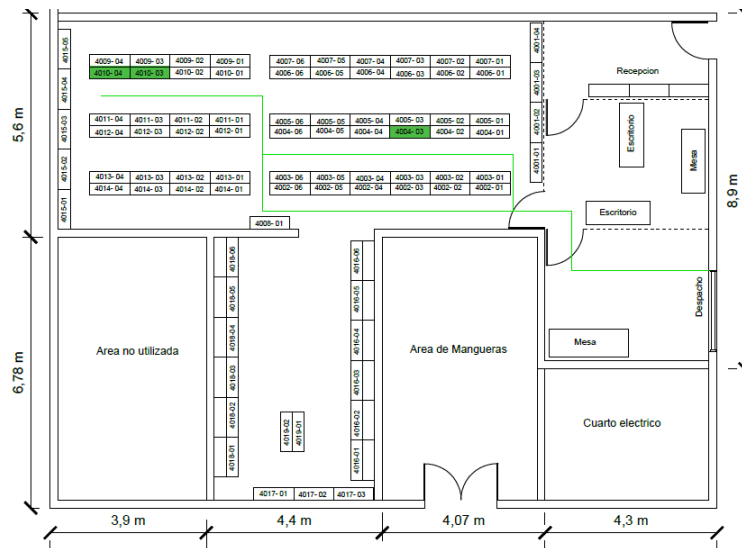


Figura 22 Recorrido 2 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia

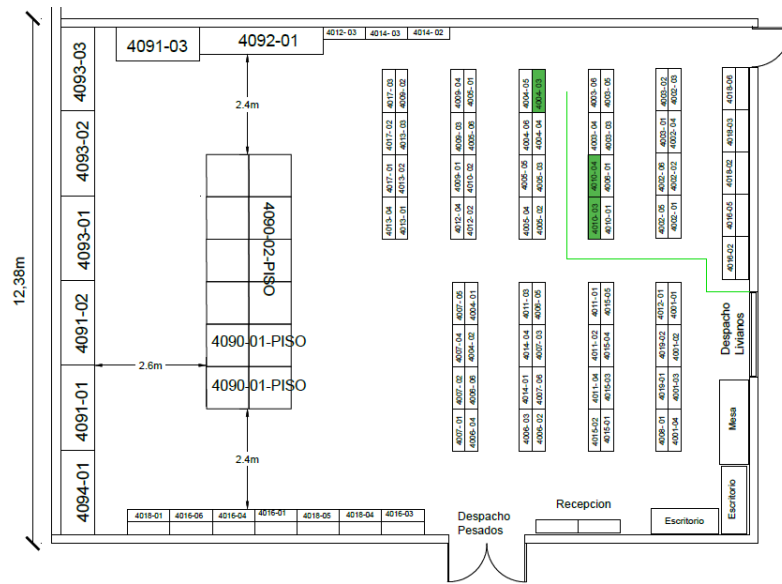


Figura 23 Recorrido 2 para un pedido situación propuesta. Elaboración propia.

En el segundo pedido evaluado se obtienen distancias recorridas de 39,1 y 21,6 metros para el layout actual y el propuesto respectivamente, donde se muestra una reducción del 46% de la distancia recorrida dado a caminatas innecesarias.

Recorrido 3

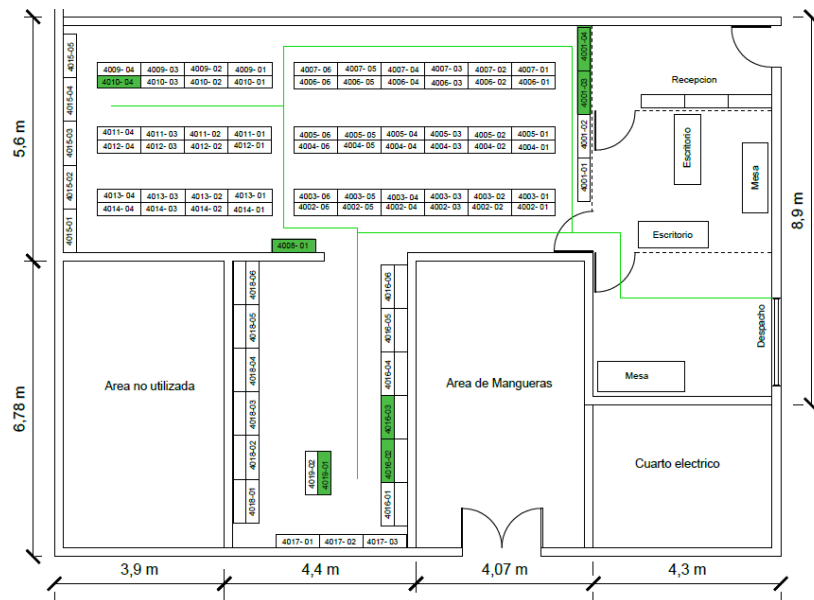


Figura 24 Recorrido 3 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia

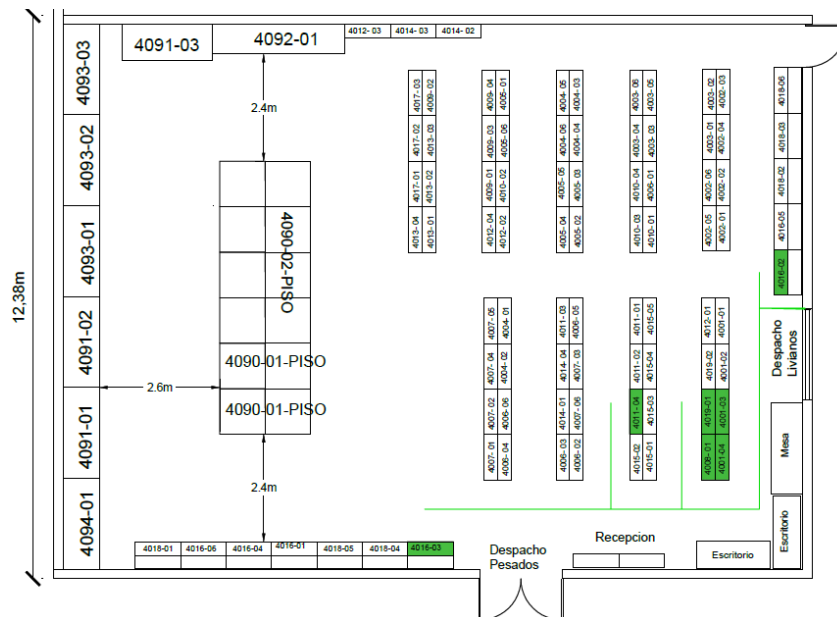


Figura 25 Recorrido 3 para un pedido situación propuesta. Elaboración propia

En la comparación del tercer recorrido evaluado, un dato importante a tomar en cuenta con respecto a las órdenes anteriores, es el pedido que menor cantidad de ítems requiere recolectar y se visitan varias ubicaciones, pero requiere un recorrido de 53,5 metros en la distribución actual y 33,9 metros en la propuesta, generando un ahorro del 36,6% de la distancia necesaria.

Recorrido 4

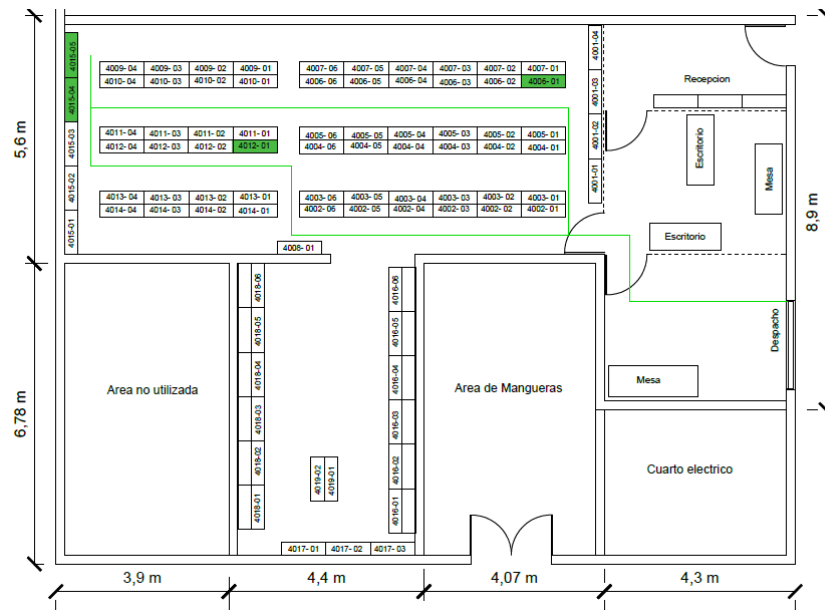


Figura 26 Recorrido 4 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia.

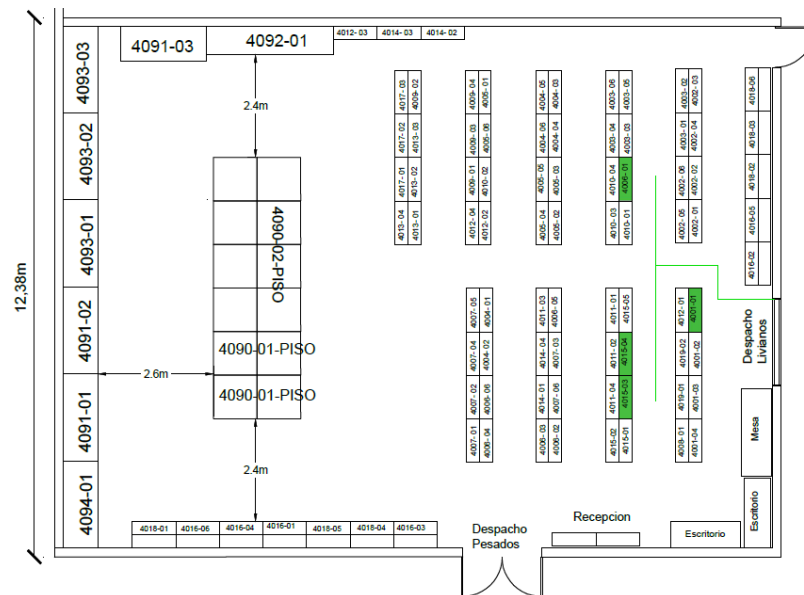


Figura 27 Recorrido 4 para un pedido en la situación propuesta. Elaboración propia.

En el recorrido número 4 se evidencia una reducción del 54,1% la distancia en la recolección en total de 42,5 metros a 19,5 metros, una importante disminución que aprovecha la redistribución de manera que un pedido de ítems de alta rotación puede mostrar ahorros de gran importancia.

Recorrido 5

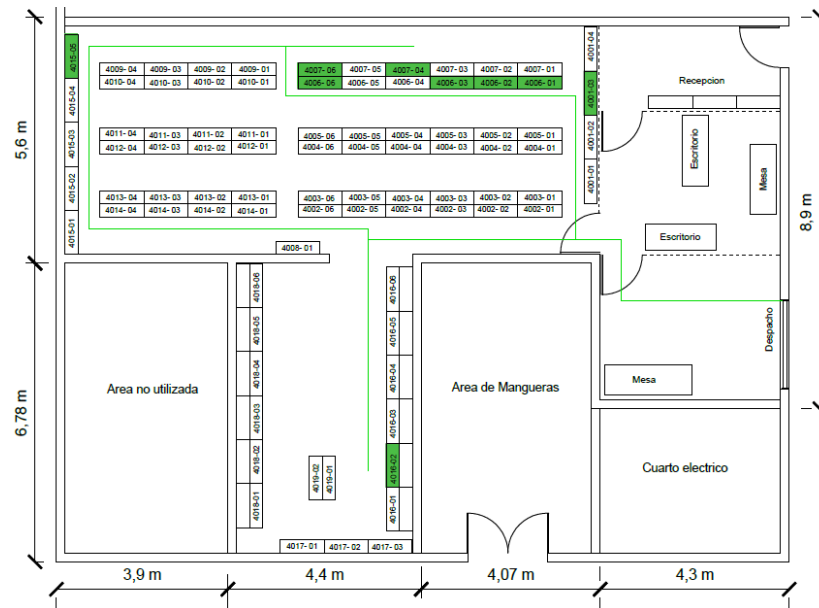


Figura 28 Recorrido 5 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia.

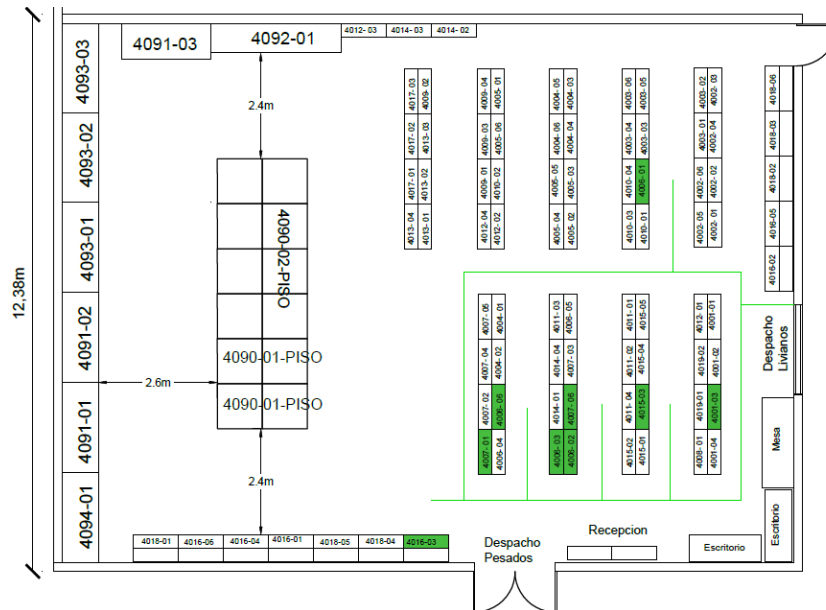


Figura 29 Recorrido 5 para un pedido en la situación propuesta. Elaboración propia.

Para este pedido constaba de 9 ubicaciones de las cuales recolectar repuestos y se obtuvo una distancia 57,2 metros en la situación actual del almacén y una de 43,2 metros para la propuesta desarrollada, para este caso se genera un disminución del 24.4% de la distancia recorrida en la ruta del recolector.

Recorrido 6



Figura 30 Recorrido 6 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia.

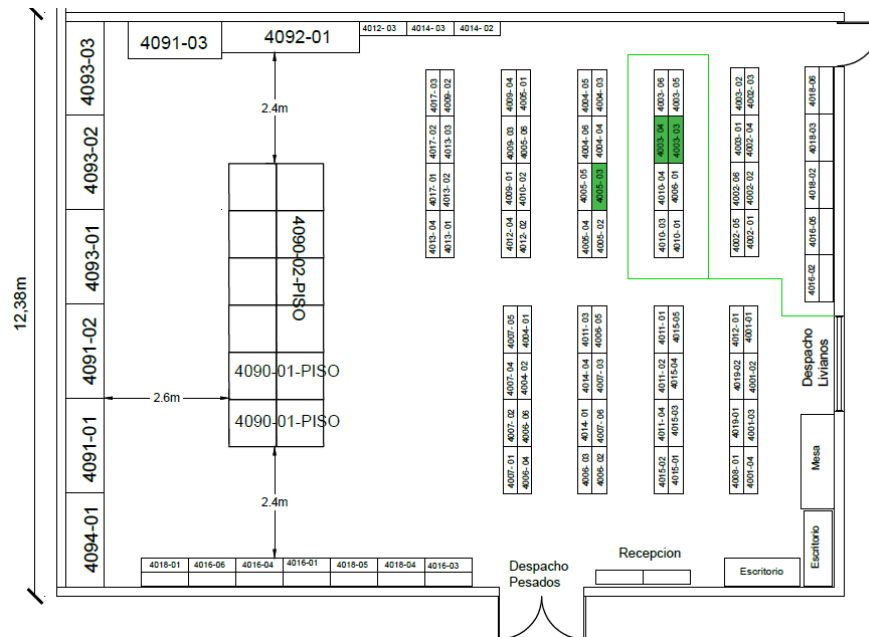


Figura 31 Recorrido 6 para un pedido en la situación propuesta. Elaboración propia.

De acuerdo a este pedido del recorrido 6, se obtuvo para layout actual una distancia recorrida de 31 metros, en cambio en el propuesto 26.9 metros para un ahorro de 13.2% en el desplazamiento del almacenista en la recolección del pedido.

Recorrido 7

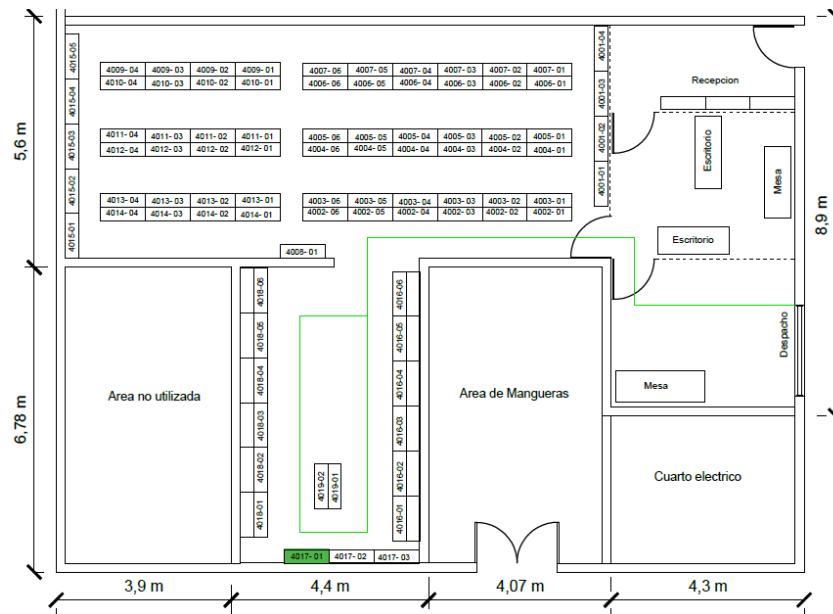


Figura 32 Recorrido 7 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia.

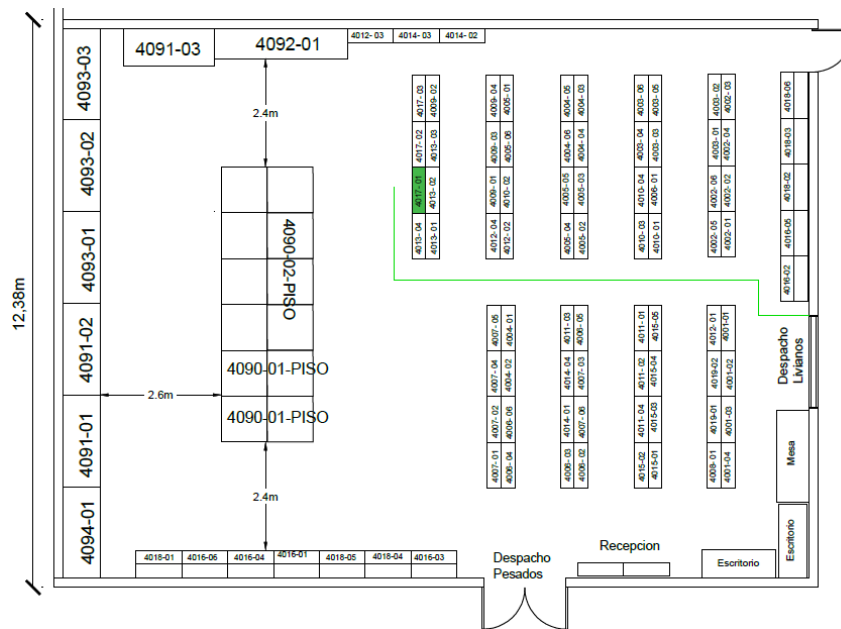


Figura 33 Recorrido 7 para un pedido en la situación propuesta. Elaboración propia.

En este escenario sólo se visita una ubicación para una reserva de repuestos. La reducción de la distancia al comparar los dos layout es del 36,4%, donde 38 metros son recorridos en el actual y 24,4 metros en el propuesto.

Recorrido 8

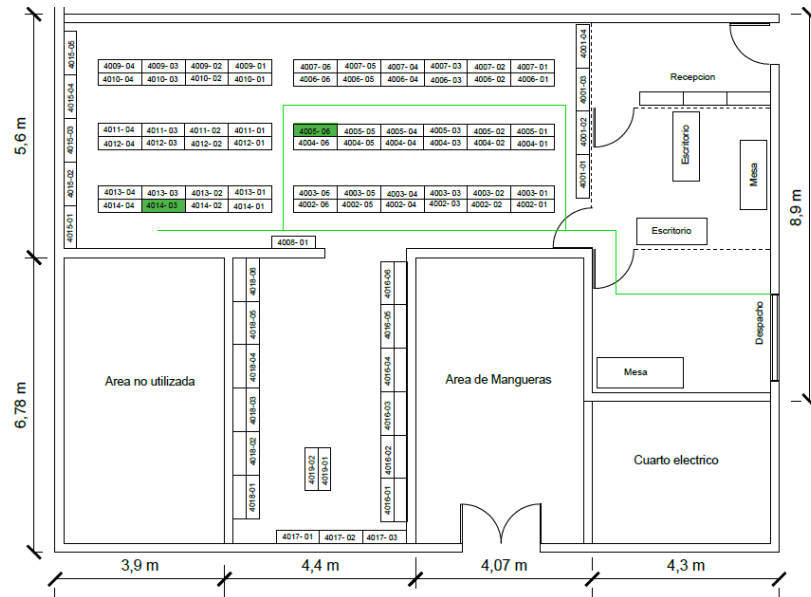


Figura 34 Recorrido 8 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia.

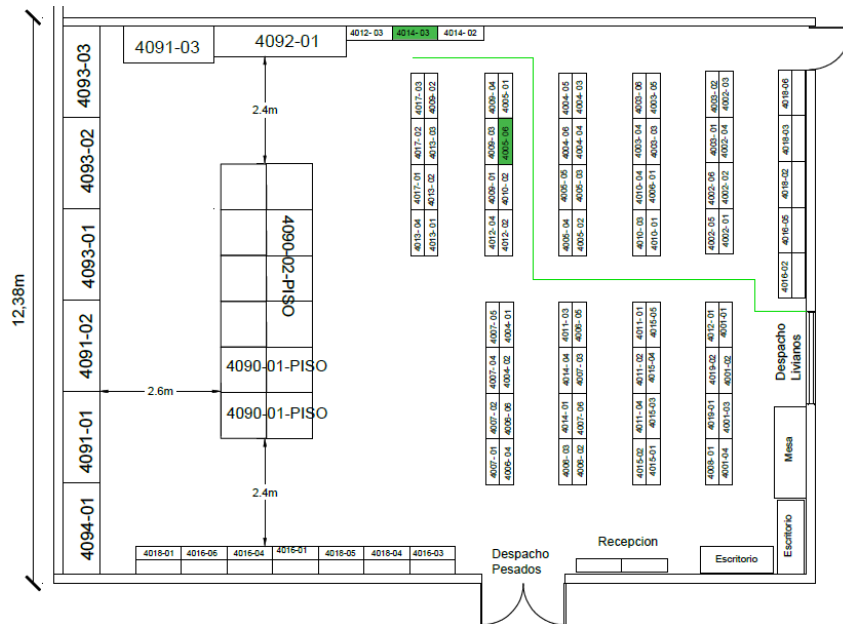


Figura 35 Recorrido 8 para un pedido en la situación propuesta. Elaboración propia.

Para este caso el pedido requiere que se visiten 2 ubicaciones, donde para el layout actual la distancia de la recolección de este pedido es de 37,1 metros, pero para la propuesta es de 31,4 metros obteniendo así una disminución en el recorrido de 15.3%.

Recorrido 9

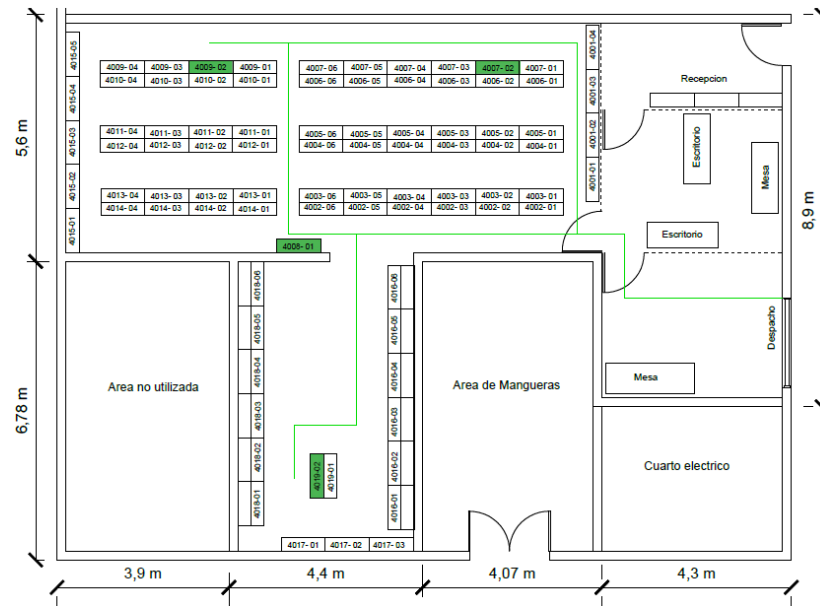


Figura 36 Recorrido 9 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia.

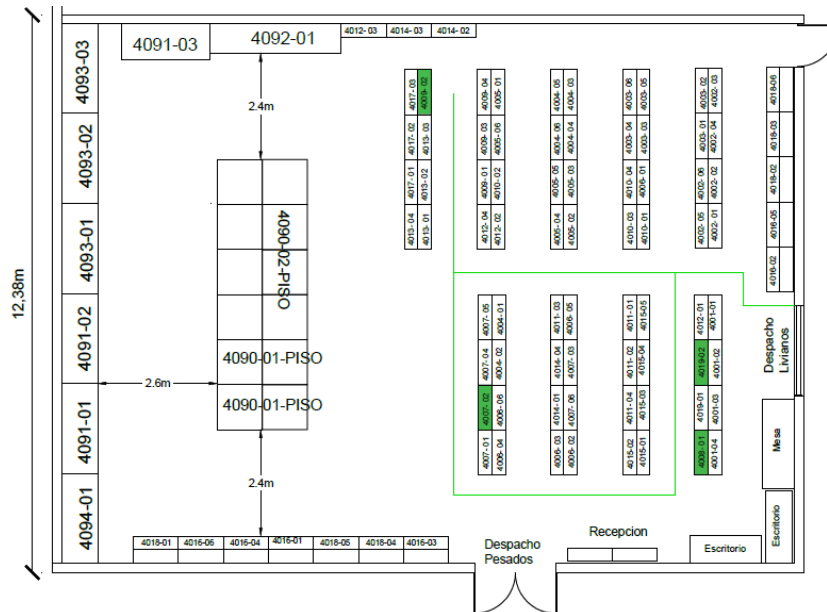


Figura 37 Recorrido 9 para un pedido en la situación propuesta. Elaboración propia.

En la situación actual se obtuvo una distancia de desplazamiento en la recolección de este pedido de 52,8 metros y en la propuesta 33,4 metros, aquí se minimiza en un 36,7% la distancia necesaria para dar cumplimiento a esta orden o reserva específica.

Recorrido 10

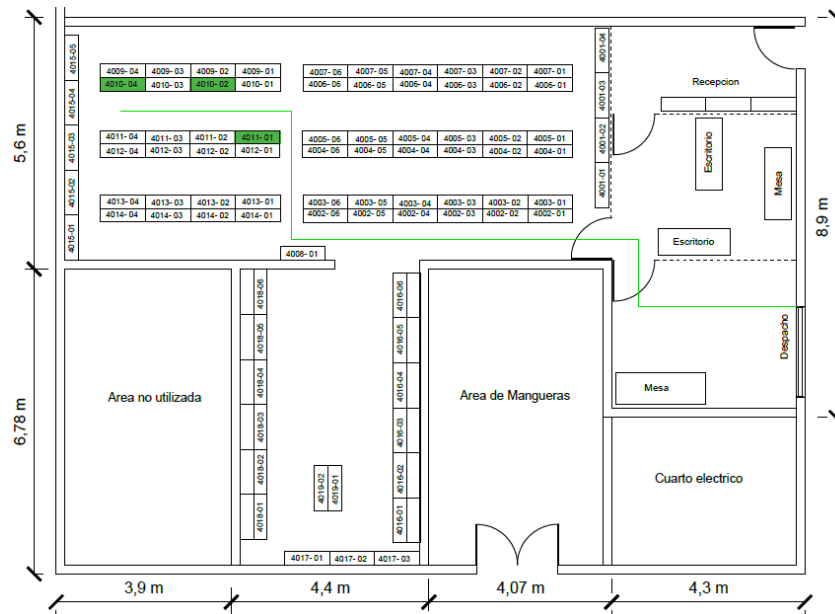


Figura 38 Recorrido 10 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia

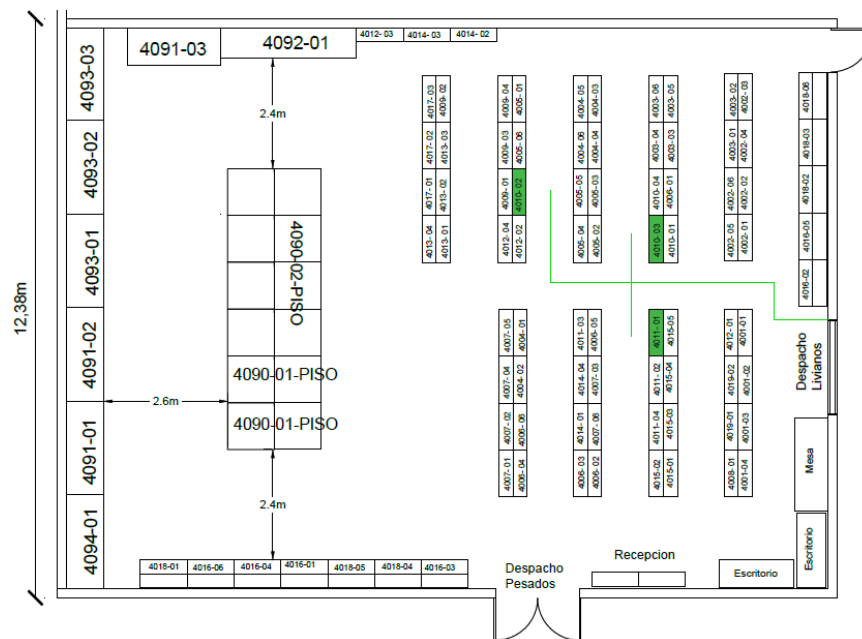


Figura 39 Recorrido 10 para un pedido en la situación propuesta. Elaboración propia.

El recorrido 10, representa la recolección de un pedido de baja frecuencia de rotación, en el cual se muestra una reducción del 43% de la distancia recorrida disminuyendo el viaje de 38,8 metros en la distribución actual a 22,1 metros en la distribución propuesta.

Recorrido 11

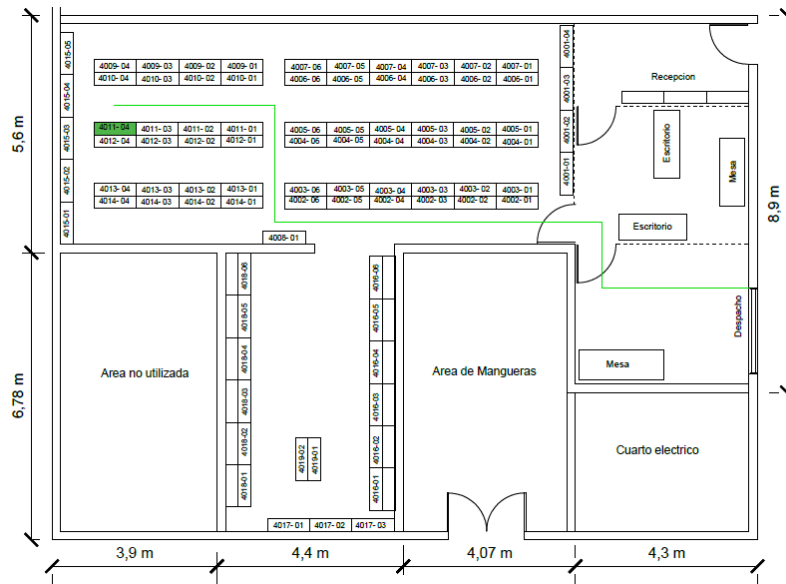


Figura 40 Recorrido 11 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia.

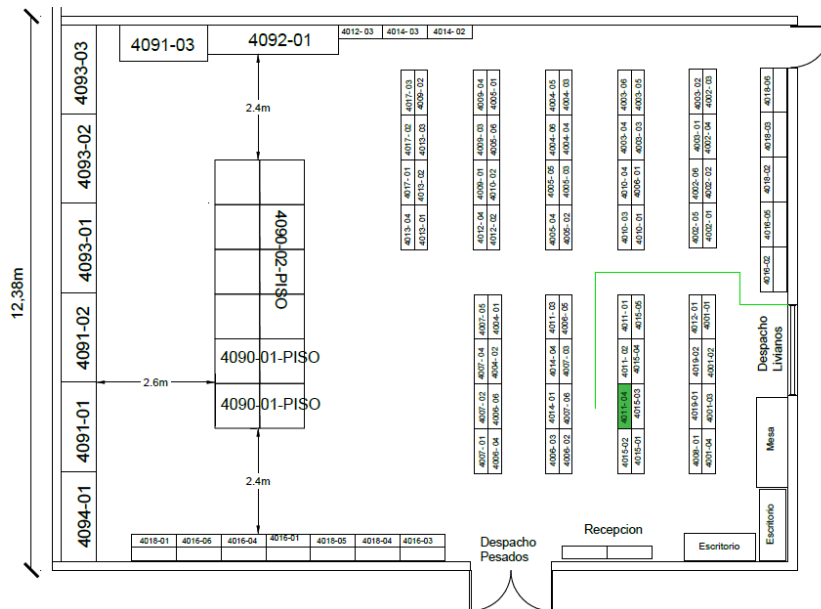


Figura 41 Recorrido 11 para un pedido en la situación propuesta. Elaboración propia

El recorrido 11 representa la recolección de una orden específica poco común para reparación de grúa Grove, en la que se muestra un ahorro de distancia del 43%, el cual es una disminución importante de caminata de 38,7 metros en la distribución actual a 22 metros en la distribución propuesta.

Recorrido 16

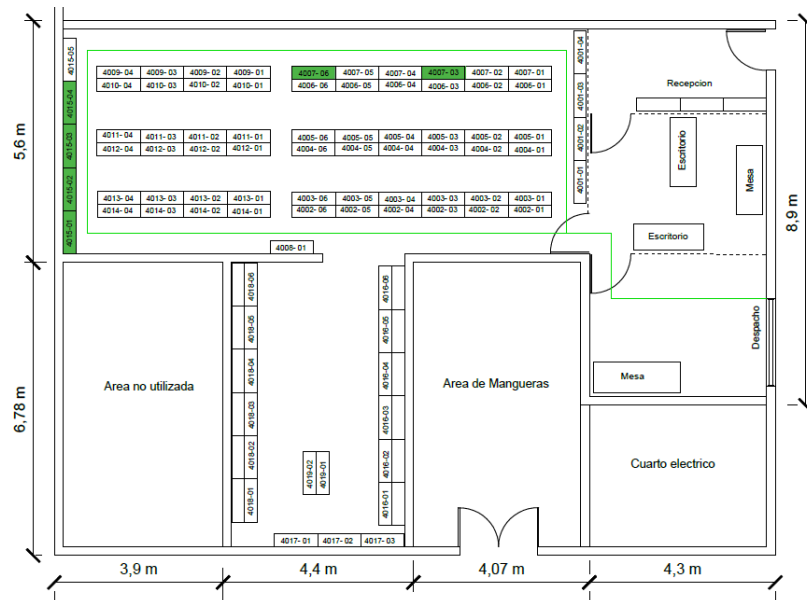


Figura 42 Recorrido 16 para un pedido en la situación actual. Elaboración propia

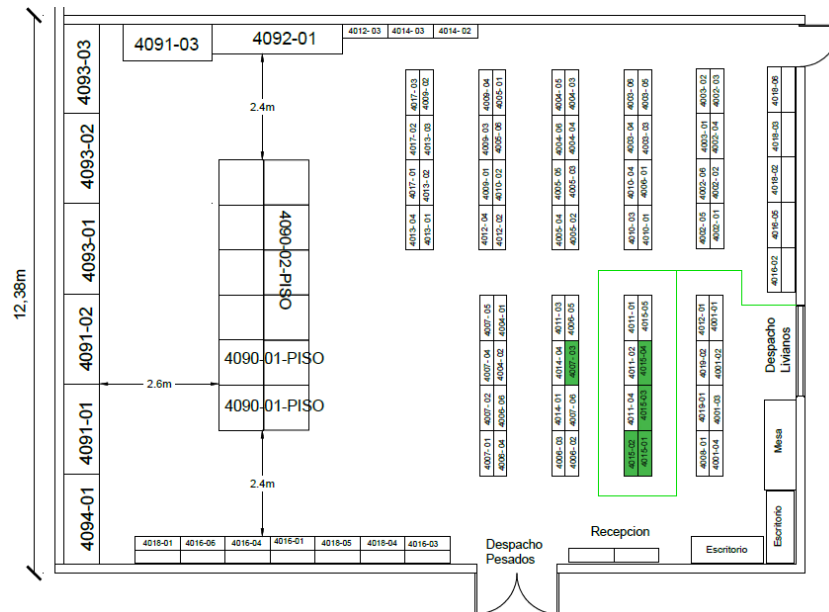


Figura 43 Recorrido 16 para un pedido en la situación propuesta. Elaboración propia

El Recorrido 16 muestra una orden donde de un grupo específico (Case) que está compuesto por ítems clase A y C donde se muestra que la nueva agrupación teniendo en cuenta características es efectiva dando como resultado una reducción del 56,8% de la distancia recorrida total.

11. CONCLUSIONES

La gestión de almacenes, que contempla todas las actividades que allí ocurren, representa un factor importante, pero hasta ahora desaprovechado en la mayoría de centros de almacenamiento en Colombia, puesto que las empresas de diversos sectores subutilizan el espacio de almacenamiento con la excusa de que la gestión del almacenamiento simplemente genera beneficios para empresas de producción y de distribución, y tienden a causar esfuerzos extra para las personas que intervienen en el proceso y a generar ineficiencias, a veces imperceptibles a simple vista pero que al ser evaluadas mas a fondo pueden causar pérdidas importantes para la organización, por lo tanto es apropiado utilizar medidas de rendimiento como, costo, tiempo, distancia, rotación entre otras, para clarificar que tan bien opera el almacén, sin importar su tipo.

La asignación de rutas de recolección manual en almacenes, es un problema representativo ya que esta es la actividad que más impacta en el proceso del almacén, por su dificultad, variación de pedidos, tiempo y esfuerzos requeridos y por las limitaciones físicas individuales de las áreas de almacenaje, a pesar de esto, la literatura es relativamente escasa, además las investigaciones se enfocan en sistemas automatizados dado que la representación de la recolección manual para generar rutas óptimas es una idea difícil de resolver.

De acuerdo a la situación planteada del almacén en el primer objetivo, las características de este, como la inadecuada distribución física hacen que sea difícil desarrollar y aplicar una propuesta de recolección que disminuyan las distancias recorridas, tomando en cuenta que no poseen ningún criterio de recolección y que el criterio de almacenaje es tan solo la marca del repuesto; por esta razón se optó por proponer una política de ruteo heurístico combinado, que genere buenas rutas y flexibilidad para la implementación y aprendizaje, lo cual permita al operario tomar decisiones, con su propio criterio.

Las condiciones actuales del almacén no permiten un flujo adecuado de las operaciones, ni cumple con las necesidades mínimas requeridas por el recolector para llevar a cabo sus ocupaciones, por ejemplo algunos pasillos son muy estrechos (alrededor de 90 cm y algunos hasta de 50 cm), las estanterías no están apropiadamente ubicadas y el almacén de los repuestos pesados y livianos están separados a 161 metros de distancia, todo esto obstaculizando la labor de los almacenistas; por lo tanto se propone la redistribución física y de layout del almacén, la cual está planteada en el segundo objetivo son el complemento necesario para poder sacar beneficio de cualquier política de recolección, además

de disminuir cargas de trabajo, riesgos físicos y contribuir al éxito de las operaciones internas del almacén.

Luego de evaluar la situación actual y la propuesta, para la recolección pedidos (reales) se logra observar una disminución general de la distancia como factor de rendimiento del almacén, de entre el 13% hasta más del 50%, lo cual está relacionado directamente con el tiempo de recolección y que indirectamente también afecta los esfuerzos físicos del recolector. Tomando en cuenta la eliminación de la distancia entre almacenes que provoca un esfuerzo adicional importante y por consiguiente un tiempo, el cual afecta el cumplimiento de las operaciones de la cadena productiva de la empresa donde se puede ahorrar un promedio diario de 25 minutos y 1610 metros de caminatas entre almacenes despreciando tiempos de extracción, dado que es un supuesto de este trabajo.

12. RECOMENDACIONES

La empresa debe considerar implementar herramientas que apoyen las actividades de recepción, almacenamiento, búsqueda, recolección y despacho; como por el ejemplo de la identificación por código de barras, que permita la trazabilidad de los repuestos y faciliten el registro de entrada y salida de los mismos, como también buscar los repuestos dentro del almacén y evitar cometer errores despachando artículos. Adicionalmente esto puede contribuir a otro problema observado en el almacén, que está relacionado con la política de seguridad de la empresa de la salida de los repuestos, es decir, el despacho al campo donde está la maquinaria que necesite el repuesto.

Otra recomendación es la compra de equipos o materiales de apoyo para la recolección, esto porque el recolector para los repuestos livianos, únicamente cuenta con sus manos para moverlos, a pesar de que el supuesto de este trabajo donde solo realiza un solo viaje para cada recolección, en la realidad él tiene que realizar varios viajes para el caso de una orden o reserva que contenga una cantidad de repuestos considerable, implicándole realizar recorridos innecesarios y por lo tanto creando más esfuerzos en la recolección, los cuales pueden ser simplificados o eliminados con la adquisición de equipos de apoyo, que para la nueva propuesta son posibles de utilizar.

También se sugiere que almacén utilice una política de almacenamiento PEPS (primero en entrar primero en salir), esto para evitar la pérdida por obsolescencia del repuesto y para mejorar el flujo de movimiento de los repuestos y disminuir la probabilidad de que los repuestos permanezcan más tiempo del necesario en el almacén. En conjunto a esta recomendación también se propone que hallan limpiezas periódicas de la estantería ya que el polvo acumulado deteriora los repuestos almacenados y además afecta la salud de los recolectores.

Para finalizar se sugiere extender la investigación a lo largo del proceso de reparación de maquinaria, el cual es dependiente de la eficiencia del almacén, combinándolo con propuestas de la salida de los repuestos y planes de mantenimientos preventivos, esto para disminuir al máximo el tiempo perdido por maquinaria agrícola parada y mejorar la disponibilidad de la misma.

13. ANEXOS

ANEXO 1

Tabla 14 Clasificación ABC del almacén de livianos con respecto la frecuencia de visita de las ubicaciones.

Estantería	Frecuencia	Frec. Rel	Frec. Acum	Clasificación
401201	516	11.66%	11.66%	A
401901	194	4.38%	16.04%	A
400104	167	3.77%	19.81%	A
400201	151	3.41%	23.23%	A
400103	106	2.39%	25.62%	A
401001	100	2.26%	27.88%	A
400102	89	2.01%	29.89%	A
400101	88	1.99%	31.88%	A
401803	86	1.94%	33.82%	A
401505	85	1.92%	35.74%	A
400202	84	1.90%	37.64%	A
401101	83	1.88%	39.52%	A
400205	81	1.83%	41.35%	A
401003	81	1.83%	43.18%	A
401504	80	1.81%	44.98%	A
400801	73	1.65%	46.63%	A
401605	73	1.65%	48.28%	A
400204	72	1.63%	49.91%	A
401902	72	1.63%	51.54%	A
401503	71	1.60%	53.14%	A
401602	71	1.60%	54.74%	A
400601	67	1.51%	56.26%	A
401004	65	1.47%	57.73%	A
401102	63	1.42%	59.15%	A
401802	63	1.42%	60.57%	A
401806	63	1.42%	62.00%	A
400206	62	1.40%	63.40%	A
401104	62	1.40%	64.80%	A
400301	58	1.31%	66.11%	B
401202	56	1.27%	67.37%	B
400506	55	1.24%	68.62%	B
401204	55	1.24%	69.86%	B

401002	54	1.22%	71.08%	B
400302	49	1.11%	72.19%	B
401603	49	1.11%	73.29%	B
400904	47	1.06%	74.36%	B
401401	44	0.99%	75.35%	B
400203	43	0.97%	76.32%	B
400706	43	0.97%	77.29%	B
401804	40	0.90%	78.20%	B
400503	37	0.84%	79.03%	B
401404	37	0.84%	79.87%	B
400304	35	0.79%	80.66%	B
401805	35	0.79%	81.45%	B
401502	34	0.77%	82.22%	B
400305	33	0.75%	82.96%	B
400502	32	0.72%	83.69%	B
401103	32	0.72%	84.41%	B
401501	32	0.72%	85.13%	B
400903	31	0.70%	85.83%	B
400703	30	0.68%	86.51%	B
400605	27	0.61%	87.12%	B
400901	27	0.61%	87.73%	B
400306	26	0.59%	88.32%	B
400404	26	0.59%	88.91%	B
400504	26	0.59%	89.49%	B
400505	26	0.59%	90.08%	B
400405	23	0.52%	90.60%	C
401203	22	0.50%	91.10%	C
400501	21	0.47%	91.57%	C
401702	21	0.47%	92.05%	C
400606	20	0.45%	92.50%	C
401604	20	0.45%	92.95%	C
400602	19	0.43%	93.38%	C
400603	18	0.41%	93.79%	C
401302	18	0.41%	94.19%	C
401402	18	0.41%	94.60%	C
401701	18	0.41%	95.01%	C
400401	17	0.38%	95.39%	C
400303	16	0.36%	95.75%	C
400402	16	0.36%	96.11%	C
400604	16	0.36%	96.48%	C

401301	16	0.36%	96.84%	C
400902	15	0.34%	97.18%	C
401703	15	0.34%	97.51%	C
401601	14	0.32%	97.83%	C
400701	12	0.27%	98.10%	C
400702	12	0.27%	98.37%	C
401303	11	0.25%	98.62%	C
401403	11	0.25%	98.87%	C
400403	9	0.20%	99.07%	C
401304	9	0.20%	99.28%	C
401801	9	0.20%	99.48%	C
400406	8	0.18%	99.66%	C
400704	8	0.18%	99.84%	C
400705	7	0.16%	100.00%	C
401606	0	0.00%	100.00%	C

ANEXO 2

Tabla 15 Clasificación ABC almacén de repuestos pesados con respecto a la frecuencia de visita de las ubicaciones.

Ubicación	frecuencia	Frec Rel	Frec. Acum	Clasificación
409001PISO	112	22.40%	22.40%	A
409401	82	16.40%	38.80%	
409502PISO	67	13.40%	52.20%	
409501PISO	52	10.40%	62.60%	
409002PISO	47	9.40%	72.00%	B
409302	35	7.00%	79.00%	
409101	30	6.00%	85.00%	
409301	20	4.00%	89.00%	
409102	19	3.80%	92.80%	C
409303	16	3.20%	96.00%	
409201	10	2.00%	98.00%	
409103	7	1.40%	99.40%	
409104PISO	3	0.60%	100.00%	

Modelo matemático para el ruteo óptimo almacén caso de estudio.

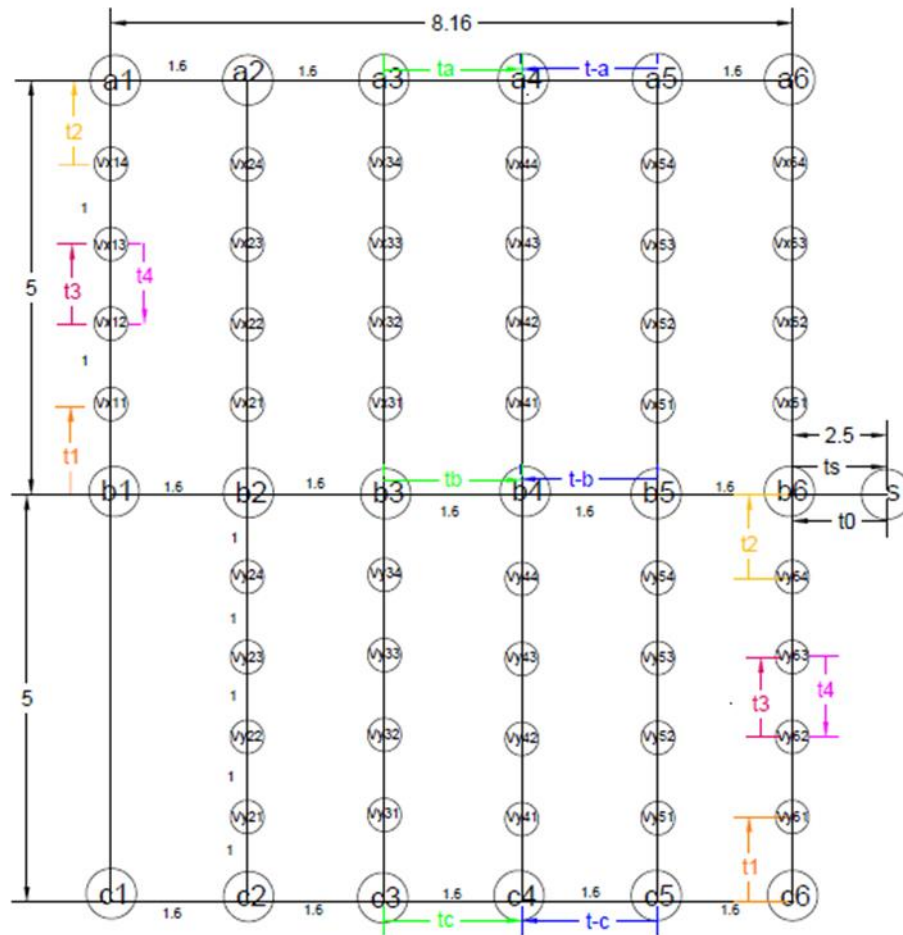


Figura 44 Grafo del almacén de livianos.

Conjuntos de variables

i = número de ubicaciones de recogida; $i = \{1, 2, 3, \dots, m\}$

j= número de pasillos; $j = \{1, 2, 3, \dots, n\}$

S=punto de despacho (recepción de reservas)

V= grupo de vértices de recolección $v_i = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$

X= bloque número 1 del almacén

Y= bloque número 2 del almacén

α = conjunto de pasillos de cruce (nodos de cruce) del almacén; $\alpha = \{a, b, c\}$

β = conjunto de bloques del almacén $\beta = \{X, Y\}$

$v_{\beta ji}$ = ubicación de recolección del bloque “ β ” en el pasillo “ j ” y el estante y en el estante “ i ”

a_j = pasillo de cruce (nodo) j en la parte superior del almacén.

b_j = pasillo de cruce (nodo) j en la parte media del almacén.

C_j = pasillo de cruce (nodo) j en la parte inferior del almacén.

P_j {1, si el pasillo “ j ” contiene al menos un ítem a ser recogido; 0 de lo contrario.}

Constantes

d_0 = distancia entre el despacho “ s ” y el pasillo de cruce b_6 y viceversa

$d\alpha$ = distancia ente pasillos adyacentes $\alpha = \{a, b, c\}$

d_1 = distancia entre un pasillo de cruce (nodo) α y un vértice de ubicación $v_{\beta ji}$

d_2 = distancia entre un vértice de ubicación $v_{\beta ji}$ y un nodo del pasillo de cruce α_j en el pasillo “ j ”.

d_3 = distancia entre un vértice de recolección $v_{\beta ji}$ y otro vértice de recolección $v_{\beta ji+1}$.

d_4 = distancia entre un vértice de recolección $v_{\beta ji+1}$ y otro vértice de recolección $v_{\beta ji}$.

Variables binarias

t_0 = {1, si el arco (s,b6) está dentro del tour; 0 de lo contrario}

t_s = {1, si el arco (b6,s) está dentro del tour; 0 de lo contrario}

ta^- = {1, si el arco (a_{j+1}, a_j) está dentro del tour; 0 de lo contrario}; $j \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$

ta = {1, si el arco (a_j, a_{j+1}) está dentro del tour; 0 de lo contrario}; $j \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$

tb^- = {1, si el arco (b_{j+1}, b_j) está dentro del tour; 0 de lo contrario}; $j \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$

tb = {1, si el arco (b_j, b_{j+1}) está dentro del tour; 0 de lo contrario}; $j \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$

$tc^- = \{1, \text{ si el arco } (c_{j+1}, c_j) \text{ está dentro del tour; } 0 \text{ de lo contrario}\}; j \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$

$tc = \{1, \text{ si el arco } (c_j, c_{j+1}) \text{ está dentro del tour; } 0 \text{ de lo contrario}\}; j \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$

$t1 = \{1, \text{ si el arco } (\alpha, v_{\beta ji}) \text{ está dentro del tour; } 0 \text{ de lo contrario}\}; i \in \{1, 4\}$

$t2 = \{1, \text{ si el arco } (v_{\beta ji}, \alpha) \text{ está dentro del tour; } 0 \text{ de lo contrario}\}; i \in \{1, 4\}$

$t3 = \{1, \text{ si el arco } (v_{\beta ji}, v_{\beta ji+1}) \text{ está dentro del tour; } 0 \text{ de lo contrario}\}; i \in \{1, 2, 3\}$

$t4 = \{1, \text{ si el arco } (v_{\beta ji+1}, v_{\beta ji}) \text{ está dentro del tour; } 0 \text{ de lo contrario}\}; i \in \{1, 2, 3\}$

Modelo matemático

Función Objetivo: minimizar la distancia en la recolección de pedidos

$$\begin{aligned} \text{Min} \sum_{j=1}^1 \sum_{i=1}^4 \sum_{\alpha \in \{a,b,c\}} \sum_{\beta \in \{x,y\}} [d1t1 + d3(t3 + t4) + d2t2] + \sum_{\alpha \in \{a,b,c\}} \sum_{j=1}^6 d\alpha(ta + ta^- + tb \\ + tb^- + tc + tc^-) + \sum_{\alpha \in \{a,b,c\}} \sum_{j=1}^6 d\alpha tb + \sum_{\alpha \in \{b\}} \sum_{j=6} d0(t0 + ts) \end{aligned}$$

Restricciones

- $d(\alpha_j, \alpha_{j+1}) = d(\alpha_{j+1}, \alpha_j); j \forall \{1, 2, 3, 4, 5\}$
- $t1 + t2 + t3 + t4 = 0$ para $\beta \{Y\} j=1$; para todo $\alpha / \{c1\}$
- $tc + tc^- = 0$ para $\beta \{Y\} j=1$ $\alpha / \{c1\}$
- $t1 + t2 = 2P_j \forall \alpha_j = \{a, b, c\}; \beta\{X, Y\}, j \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$
- $t3 + t4 \leq 2P_j \forall \alpha_j = \{a, b, c\}; \beta\{X, Y\}, j \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$
- $t1 = ta_j + ta_{j+1}^-$ para todo $\alpha\{a\}$; para todo $\beta\{X\}; j \in \{1, 2, 3, 4, 5\}, i \in \{1, 2, 3, 4\}$
- $t1 = tb_j + tb_{j+1}^-$ para todo $\alpha\{b\}$; para todo $\beta\{X, Y\}; j \in \{1, 2, 3, 4, 5\}, i \in \{1, 2, 3, 4\}$

- $t_1 = tc_j + tc_{j+1}$ para todo $\alpha\{c\}$; para todo $\beta\{Y\}$; $j \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$, $i \in \{1, 2, 3, 4\}$
- $t_1 = t_2 \forall \alpha_j = \{a, b, c\}$; $j \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$, $i \in \{1, 4\}$
- $t_3 \geq t_1 \forall \alpha_j = \{a, b, c\} \beta\{X, Y\}$; $j \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$, $i \in \{1, 2, 3, \}$ cuando $t_1 = 0$
entonces $t_1 = t_3$
- $t_4 \geq t_1 \forall \alpha_j = \{a, b, c\} \beta\{X, Y\}$; $j \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$, $i \in \{1, 2, 3, \}$ cuando $t_1 = 0$
entonces $t_1 = t_4$

14. BIBLIOGRAFIA

Cornuejols, G., Fonlupt, J., Naddef, D., (1985). The traveling salesman problem on a graph and some related integer polyhedra. *Mathematical Programming* 33, 1–27.

Choe, K., Sharp, G.P., (1991). Small parts order picking: design and operation. Available online at: <<http://www.isye.gatech.edu/logisticstutorial/order/article.htm>> (Acceso en feb 2017).

Lawler, E.L., Lenstra, J.K., Rinnooy Kan, A.H.G., Shmoys, D.B., (1995). *The Traveling Salesman Problem*. Wiley, Chichester.

Bartholdi III, J. y Eisenstein, D. (1996a). A production line that balances itself. *In Operations Research*, 44(1):21-34.

Bartholdi III, J. y Eisenstein, D. (1996b). BUCKET BRIGADES A Self-Balancing Order-Picking System for a Warehouse. *Recuperado de:* <http://www.BucketBrigades.com>.

Bartholdi III; Bunimovich, L y Eisenstein, D. (1999). Dynamics of 2- and 3-worker bucket brigade' production lines. *In Operations Research*, 47(3):488-491.

Roodbergen, K. J. (2001). *Layout and routing methods for warehouses*. Rotterdam: Trial.

De Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182, 481–501.

Roodbergen, K. J., Sharp, G. P., & Vis, I. F. A. (2008). Designing the layout structure of manual order picking areas in warehouses. *IIE Transactions*, 40(11), 1032–1045.

Koo, Pyung-hoi. (2009). The use of bucket brigades in zone order picking Systems. *OR Spectr*, 31(4):759–774.

Correa Espinal, Alexander Alberto; Gómez Montoya, Rodrigo Andrés; Cano Arenas, José Alejandro. (2010) *Gestión De Almacenes y Tecnologías De La Información Y Comunicación (TIC)*, *Estudios Gerenciales*, vol. 26, núm. 117, octubre-diciembre, 2010, pp. 145-171 Universidad ICESI Cali, Colombia.

Charry, Andrés. (2010). Mejoramiento logístico en el almacén central de repuestos de Toyota de Colombia S.A. a partir de un modelo de identificación y captura automática de información (trabajo de grado en especialización en gerencia Logística). Instituto de posgrados- Forum, Chía, Cundinamarca, Colombia.

Arango, M; Pemberthy, J; Zapata, J. (2010). Reestructuración del layout de la zona de picking en una bodega industrial, *Revista de Ingeniería*, núm. 32, julio-diciembre, pp. 54-61 Universidad de Los Andes Bogotá, Colombia

Lim, Yun Fong. (2011). Technical note—cellular bucket brigades. *Oper Res*, 59(6):1539–1545.

Mora, Luis Aníbal. (2011). Gestión Logística en centros de distribución y almacenes y bodegas. *Recuperado de:* http://datateca.unad.edu.co/contenidos/242005/Archivos_2014_2/Unidad_dos/LIB_ROG_2.pdf

Arrieta Posada, Juan Gregorio (2011). Aspectos a considerar para una buena gestión en los almacenes de las empresas (Centros de Distribución, cedis), *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, vol. 16, núm. 30, junio, 2011, pp. 83-96 Universidad ESAN, Surco, Perú.

Lim, Yun Fong. (2012). Order-picking by cellular bucket brigades: A case Study. Warehousing in the Global Supply Chain, 71. Research Collection Lee Kong Chian School Of Business.

Piasecki, Dave (2012). Order picking: methods and equipment for piece pick, case pick, an pallet pick operations. *Recuperado de:* http://www.inventoryops.com/order_picking.htm, Derechos de Autor © 2000 - 2012 Inventory Operations Consulting LLC.

Dukic, Goran; Opetuk, Tihomir (2012) Warehouse Layouts. Warehousing in the Global Supply Chain. Bologna, Italia. R. Manzini (ed.). DOI: 10.1007/978-1-4471-2274-6_3.

Torres Mauleón, Mikel (2013). Sistemas De Almacenaje Y Picking. EditorDíaz de Santos, Madrid, España.

Bartholdi III, J. y Hackman, Steven T. (2014). Warehouse & Distribution Science. *Recuperado de:* <http://www2.isye.gatech.edu/~jjb/wh//book/editions/wh-sci-0.96.pdf>

Coelho, F; Horta, M; Relvas, S (2016). Layout design modelling for a real world just-in-time warehouse CEG-IST, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisbon, Portugal

LOGYCA (2016). ¿Qué es el código de barras?, Visión Logyca. Recuperado de: <http://blog.logyca.com/noticias/%EF%BB%BF%EF%BB%BFque-es-el-codigo-de-barras/>

Henn, S; Scholz, A; Stuhlmann, M; Wäscher, G (2016). A new mathematical programming formulation for the Single-Picker Routing Problem. *European Journal of Operational Research* 253, 68–84.

Elbert, R. M., et al. (2016). The effects of human behavior on the efficiency of routing policies in order picking: The case of route deviations. *Computers & Industrial Engineering*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2016.11.033>