

**PROPUESTA PARA LA UBICACIÓN DE PRODUCTO TERMINADO EN
BODEGA DE AZÚCAR DEL INGENIO MAYAGUEZ S.A**

**FABIAN ALEXANDER CASANOVA URBANO
JONATHAN GONZALEZ HERNANDEZ**



**FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PALMIRA
2014**

**PROPUESTA PARA LA UBICACIÓN DE PRODUCTO TERMINADO EN
BODEGA DE AZÚCAR DEL INGENIO MAYAGUEZ S.A**

**FABIAN ALEXANDER CASANOVA URBANO
JONATHAN GONZALEZ HERNANDEZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Industrial**

**Director
RAÚL DÍAZ PACHECO
Ingeniero Mecánico
MSC- Ingeniería Industrial**



**FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PALMIRA
2014**

NOTA DE ACEPTACIÓN:

PRESIDENTE DEL JURADO

JURADO

JURADO

PALMIRA, ABRIL DE 2014

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

DEDICATORIA

Por este gran paso que doy hacia una vida como profesional, primero doy gracias a Dios quien es mi mayor guía, agradezco a mi madre y padre, que gracias a su apoyo he logrado alcanzar una de las metas propuestas para mi vida y la cual, espero sea el principio de muchos más logros, que me permitan crecer como persona y profesional.

Fabián Alexander Casanova

Este trabajo de grado está dedicado a mi familia, a mi madre y padre por apoyarme durante todo este proceso de formación, a mis abuelos por siempre darme ánimos para continuar adelante y estar atentos de todo lo acontecido.

Jonathan González Hernández

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Raúl Díaz Pacheco, por guiarnos durante todas las etapas de la elaboración de este proyecto y su compromiso con la formación de ingenieros de calidad.

Al profesor Julio Cesar Londoño, quien nos brindó asesorías, que guiaron la realización de este trabajo.

En general también queremos agradecer a todos los profesores de la escuela de Ingeniería industrial, que hicieron parte de nuestra formación y que hoy en día siguen con esa gran labor, de formar profesionales integrales y de conocimiento.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	18
2. OBJETIVO GENERAL.....	23
3. JUSTIFICACIÓN	24
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	26
5. PROPUESTA METODOLÓGICA	36
5.1 Analizar de manera sistémica la situación actual del centro de almacenamiento objeto de estudio, identificando sus funciones operativas y logísticas relacionadas con la operación en los centros de distribución.	36
5.1.1 Recopilar información acerca de los procesos de almacenamiento, recogida y despacho en la bodega de producto terminado.	36
5.2 Determinar los productos que requieren mayor gestión, aplicando las herramientas de análisis ABC multicriterio consultadas.	37
5.2.1 Preparar la información en el formato requerido para llevar a cabo la implementación de las herramientas multicriterio seleccionadas y proceder con la aplicación.....	37
5.2.2 Organizar los resultados obtenidos	38
5.3 Diseñar una propuesta para la ubicación de los SKU's más importantes en la bodega de producto terminado objeto de estudio, de acuerdo a los resultados obtenidos de la aplicación de herramientas de asignación.....	38
5.3.1 Presentar las propuestas de distribución	38
5.3.2 Evaluarlos resultados de los modelos aplicados y la situación actual. 39	
5.3.3 Preparar propuesta	39
6 MARCO TEÓRICO.....	40
6.1 Clasificación ABC Tradicional.....	40
6.2 Herramientas de Clasificación Multicriterio	41
6.2.1 Analytic Hierarchy Process (AHP).....	41
6.2.2 Modelo R*	47
6.3 Técnicas de Almacenamiento.....	49

6.4	Programación Lineal	53
7	DESARROLLO	57
7.1.1	Infraestructura	57
7.1.2	Proceso de Almacenamiento	62
7.1.3	Proceso de Despacho	66
7.1.4	Flujo de Información y documentación	71
7.1.5	Mano de Obra	72
7.1.6	Maquinaria y Herramientas	75
7.2	Clasificación ABC	79
7.2.1	Criterios de decisión para la propuesta a realizar	80
7.3	Necesidades de Expansión de la Bodega Objeto de Estudio	84
7.3.1	Análisis de la capacidad actual del centro de distribución.....	84
7.3.2	Espacio requerido para almacenar.....	88
7.3.3	Espacio requerido para pasillos	88
A.	Requerimiento de Pasillo peatonal	88
B.	Pasillos para flujo de material	89
7.3.4	Propuestas de expansión del Centro de Distribución.....	90
7.4	Ubicación de los Productos en las propuestas de Expansión.....	95
7.4.1	Modelo Matemático Propuesto para Ubicación con índice ABC	98
7.4.2	Modelo Matemático Propuesto para Ubicación con Índice COI	100
7.5	Evaluación y Selección de la Mejor Propuesta de Ubicación de Productos.	101
7.5.2	Evaluación de órdenes – para cálculo acumulado de tiempo de picking	106
8.	CONCLUSIÓN	109
9.	RECOMENDACIONES	110
10.	BIBLIOGRAFÍA	111
11.	ANEXOS	115

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Actividades de almacenamiento y estrategias utilizadas para la operación de picking.....	27
Tabla 2. Escala de importancia AHP.	42
Tabla 3. Índice de consistencia aleatorio (IA) en función de la dimensión de la matriz (n).....	45
Tabla 4. Criterio de clasificación ABC modelo R*.....	49
Tabla 5. Ejemplos de preguntas fundamentales y funciones objetivo relacionadas.	54
Tabla 6. Utilización de capacidad total y Área utilizada para almacenar en bodega de producto terminado.	59
Tabla 7. Descripción de las capacidades de bahías de almacenamiento.....	61
Tabla 8. Características de Montacargas: (A) CATERPILLAR P6000-LP4W, (B) MOTOY 7FGU30.	77
Tabla 9. Resultados - Herramientas de clasificación ABC.....	81
Tabla 10. Tamaño de bodega, Propuesta 1.....	92
Tabla 11. Tamaño de bodega, Propuesta 2.....	94
Tabla 12. Valor de z, según nivel de confianza.....	102

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Layout de Bodega.....	19
Ilustración 2. Diagrama de Flujo de la bodega objeto de estudio.	58
Ilustración 3. Entradas de producto embalado en sacos de polipropileno.	63
Ilustración 4. Recepción de producto embalado en bolsas de polietileno.	63
Ilustración 5. Diagrama de Proceso para recepción de producto en zona de almacenamiento.....	64
Ilustración 6. Estibado de producto: (a) presentación 50kg; (b) presentación de 25 kg.	65
Ilustración 7. Diagrama de Flujo - despacho de producto.....	67
Ilustración 8. (a) Montacargas CATERPILLAR P6000; (b) Montacargas MOTOY 7FGU30.	76
Ilustración 9. (a) Banda transportadoras, recepción producto blanco, natural y banda para alimentar silos para el producto familiar; (b) banda para cargue de camión.	78
Ilustración 10. Estibas.....	79
Ilustración 11. Capacidad máxima de bodega Vs. Requerimientos.	85

LISTADO DE ECUACIONES

Ec. 1 Ingreso por Ventas	29
Ec. 2 Calculo matriz R, prioridad entre criterios	43
Ec. 3 Calculo matriz normalizada (Rnorm).....	43
Ec. 4 Calculo de vector de pesos para cada criterio.....	44
Ec. 5 Calculo de índice de consistencia (IC).....	44
Ec. 6 Calculo de ratio de consistencia (RC).....	45
Ec. 7 Formula para normalizar la tabla de criterios.....	46
Ec. 8 Fórmula para calcular Puntaje final del ítem i.....	46
Ec. 9 Función Objetivo del Modelo R*, Puntaje final del ítem i.....	47
Ec. 10	48
Ec. 11 Normalizar matriz producto–criterio.....	49
Ec. 12 Función Objetivo de Modelo Matemático Propuesto para Ubicación con índice ABC.....	98
Ec. 13 Cercanía al punto de despacho.....	98
Ec. 14 Asignación de los productos i a bahías j	99
Ec. 15 Capacidad de la bahía de almacenamiento.....	99
Ec. 16 Función Objetivo de Modelo Matemático Propuesto para Ubicación con Índice COI.....	100
Ec. 17 Asignación de los productos i a bahías j	100
Ec. 18 Capacidad de la bahía de almacenamiento.....	101
Ec. 19 Cálculo del número de muestra a seleccionar, cuando el tamaño de la población es conocido.....	102
Ec. 20 Tiempo invertido por el montacargas para retirar el producto de lugar de almacenamiento.....	104

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Tiempo promedio de cargue de vehículos de 31,5 toneladas, con producto obstruido y sin obstrucción.....	115
Anexo 2. Criterios más utilizados para evaluación de ítems, en centros de almacenamiento.....	116
Anexo 3. Matriz comparativa de modelos de clasificación ABC.....	117
Anexo 4. Resultados, clasificación de modelos ABC.....	126
Anexo 5. Puestos requeridos, en periodo de máxima utilización de bodega.	130
Anexo 6. Espacio mínimo requerido de pasillo para montacargas, velocidad promedio de montacargas y velocidad de mástil.	132
Anexo 7. Resultados modelo de ubicación, en propuesta de distribución 1.	133
Anexo 8. Resultados modelo de ubicación, en propuesta de distribución 2.	138
Anexo 9. Resultados modelo de ubicación COI (P1 y P2).....	141
Anexo 10. Tiempo vertical para la toma de estibas (continuación).....	143
Anexo 11. Tiempo promedio para el despacho de órdenes de 1 estibas.	145
Anexo 12. Obstruidos de la propuesta de ubicación seleccionada (Modelo R*)..	146

UNIDADES UTILIZADAS

cm	=	Centímetro
m	=	Metros
m²	=	Metros Cuadrados
min	=	Minutos
Ton	=	Tonelada
Kg	=	Kilogramo

RESUMEN

En el siguiente trabajo se realiza una propuesta para la ubicación de producto terminado en el área de almacenamiento y despacho del Ingenio Mayagüez S.A., en primer lugar se hace una caracterización, donde se analizan aspectos como: infraestructura, capacidad, procesos y procedimientos de almacenamiento y despacho, mano de obra y herramientas. De los resultados de este análisis se encontró que la capacidad requerida actual es 28.8% mayor a la capacidad máxima del centro objeto de estudio, por lo tanto, se realiza un análisis del espacio requerido sobre el piso para almacenar, flujo de personal y flujo de material, siguiendo las normas de seguridad en los lugares de almacenamiento (Resolución 2400 de 1979), y se realizan 2 propuestas de expansión aplicados a los centros de distribución de forma rectangular (propuestos por *Natanaree Sooksaksun* y *Voratas Kachitvichyanukul*), que permita una adecuada ubicación de los productos. Una vez definido un tamaño adecuado de bodega, se realiza un análisis de los ítems, que deben ser ubicados en el centro objeto de estudio, para ello, se utilizan herramientas de clasificación ABC unicriterio y multicriterio (ABC clásico, ABC por AHP, y un modelo de programación lineal (modelo R*)), que son herramientas utilizadas para clasificar los inventarios y definir jerarquías, utilizando el principio de Pareto (regla 80/20).

Para la propuesta de ubicación se utilizó un modelo de programación lineal, el cual busca asignar los mejores productos (resultados de herramientas ABC), a bahías de almacenamiento más cercanas al punto de entrada y despacho de producto, estos resultados se comparan con el COI (*cube per order index*), herramienta comúnmente utilizada para asignación de producto. Por último se evalúa una recolección de órdenes para cada uno de los modelos de ubicación (cantidad de órdenes obtenidas por muestreo aleatorio simple). Como mejor propuesta de asignación se selecciona el modelo R* de Jeddou (2013), de la propuesta de

expansión 1 (Pasillo principal paralelo a la puerta de despacho), mejorando el problema planteado en un 73.59%, pasando de 85.5 minutos a 22.58 minutos, para el cargue de vehículos de 31.5 toneladas.

Palabras Claves del Trabajo de Grado: Clasificación ABC, Clasificación multicriterio, COI, AMPL (Modeling Language for Mathematical Programming), Tiempo de picking.

ABSTRACT

A proposal for the location of finished product in the storage area and office Ingenio Mayagüez S.A. is performed in the following work, first a characterization, which are analyzed aspects is infrastructure, capacity, processes and procedures for storage and office, labor and tools. From the results of this analysis found that the current required capacity is 28.8 % greater than the maximum capacity of the central object of study, therefore, an analysis of the space required on the ground to store, personnel flow and flow is performed material, following safety standards in places of storage (Resolution 2400, 1979), and 2 proposed expansion applied to the distribution centers of rectangular shape (given by Natanaree Sooksaksun and Voratas Kachitvichyanukul), allowing a suitable location are performed products. Having defined a suitable size of the warehouse, an analysis of the items, which must be located in the center under study for this, tools classification and multi unicriterio ABC (ABC Classic ABC by AHP are used and performed linear programming model (model R *)), which are tools used to classify inventory and define hierarchies, using the Pareto Principle (80/20).

For the proposed location used a linear programming model, which seeks to assign the best products (results of ABC tools), bays nearest the point of entry and clearance of product storage, these results are compared with the COI (cube per order index), commonly used tool for mapping product. Lastly, a collection of commands for each location models (number of orders obtained by random sampling) is evaluated. As best proposed allocation model Jeddou R * (2013) is selected, the proposed deployment 1 (parallel to the main hall office door), improving the problem raised by 73.59%, from 85.5 minutes to 22.58 minutes, for loading of 31.5 tones vehicles.

Keywords Job Grade: ABC Classification, multicriteria ranking, COI, AMPL (Modeling Language for Mathematical Programming), Time picking.

INTRODUCCIÓN

Dentro de los aspectos más importantes, que influyen en el diseño de un sistema de administración de inventarios aparte del ciclo de vida de los productos y la naturaleza del proceso productivo, es la ubicación del producto dentro de la matriz producto-proceso y de las actividades administrativas y de gestión que soportan cualquier sistema de control que se implemente. Para esto es importante combinar técnicas cuantitativas y cualitativas adecuadas que permitan que los inventarios produzcan los resultados deseados¹.

Una administración adecuada de los inventarios en un centro de distribución busca que el flujo sea el necesario en la cadena de suministros, esto se logra mediante el aprovechamiento de recursos como tiempo y espacio, además de la flexibilidad que permite a la empresa adaptarse a la dinámica del ambiente competitivo actual. Para garantizar el control sobre los procesos importantes en un centro de distribución que son recepción, almacenamiento, preparación de ordenes (*picking*) y despacho, se deben tener en cuenta aspectos importantes como: tiempo de respuesta, calidad, servicio al cliente, proliferación de gran variedad de ítems y regulaciones estrictas en general².

El presente documento contiene una propuesta para el almacenamiento de producto terminado en una bodega de azúcar. Dicha propuesta surge al identificar que el sistema de almacenamiento actual no está respondiendo eficientemente y está afectando el tiempo del proceso de despacho. Con el fin de mejorar esta situación se plantea una propuesta basada en un análisis multicriterio que permita identificar una manera adecuada de almacenar dichas existencias y genere mejoras en el tiempo de despacho del producto (recogida de órdenes y cargue del

¹Vidal Holguín, Carlos Julio. Planeación Optimización Y Administración de Cadenas de Abastecimiento, Editorial Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística – Universidad del Valle, Santiago de Cali, 2010. p. 43-44.

²Ibid., p. 313.

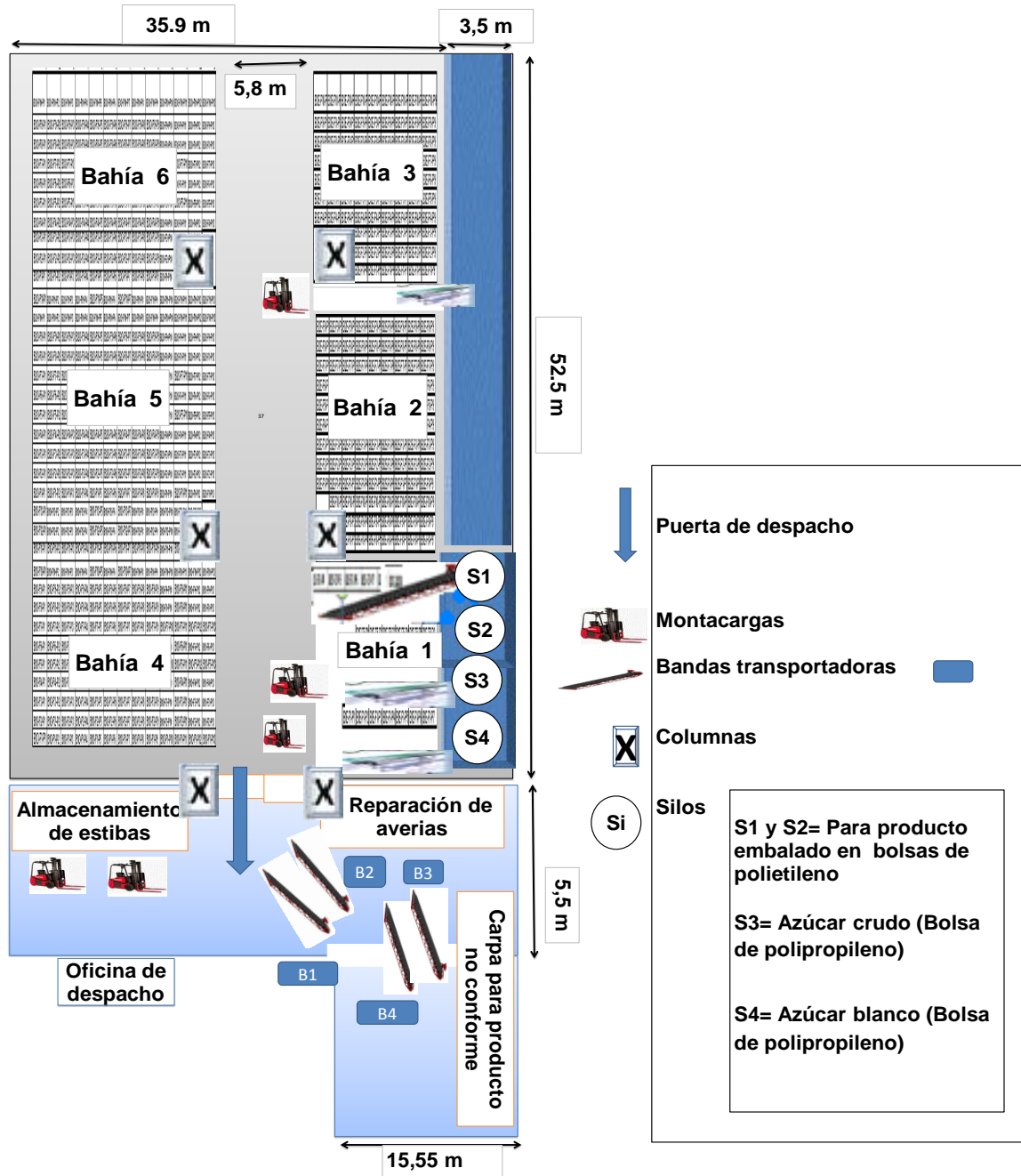
vehículo), reducción de averías (que se presentan por el elevado movimiento del producto al interior de la bodega, ocasionado por la necesidad de liberar algún producto obstruido que se desee despachar), reducción en costos operativos (generados por los retrasos en el despacho del producto) y los costos de reproceso relacionados con las averías.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, dentro del área de almacenamiento de producto terminado objeto de estudio, se ha identificado la necesidad de proponer una ubicación adecuada de las existencias, que permita mejorar el tiempo actual del proceso de despacho. Además de esto se podría lograr reducir el nivel de averías que se están generando por el alto movimiento de existencias al interior de la zona de almacenamiento por motivo de reubicación de productos para liberar otro que se encuentre obstruido.

El centro de distribución objeto de estudio, tiene una rectangular (35.9 x 52.5) m², posee un solo pasillo vertical de 5.8m de ancho, dentro de este hay un pasillo peatonal de 0.7 m de ancho, el resto es destinado para el movimiento de los montacargas, encargados de realizar las labores de picking, almacenamiento y reubicación de producto (Ilustración 1), la bodega se encuentra distribuida en 6 bahías de almacenamiento internas separadas por vigas de soporte. El área actualmente usada para almacenar es de 1882.955 m², compuesto por un total de 60 filas, y se manejan en promedio 100 referencias de producto por mes.

Ilustración 1. Layout de Bodega.



[Fuente: Autores]
Microsoft Excel

Actualmente en la bodega de producto terminado objeto de estudio, el tiempo de recolección y cargue de un camión de capacidad de 31.5 toneladas es de aproximadamente 85.5 min (Anexo 1), este tiempo se encuentra afectado por demoras en las labores de recolección del producto (o *picking*), específicamente las generadas por la necesidad de reubicar algún producto que este obstruyendo a otro que se desea despachar, esta situación puede deberse a que no se cuenta con un método de almacenamiento dedicado, donde cada tipo de producto cuente con un espacio asignado dentro de la bodega para su disposición, por el contrario su modelo de almacenamiento es aleatorio, donde el producto que ingresa a la bodega se almacena en el primer lugar que se encuentre disponible, se posee este sistema de almacenamiento ya que la capacidad máxima actual de la bodega objeto de estudio es insuficiente, presentando picos máximos de 28,8% por encima la capacidad máxima actual que es de 2125 estibas (Tabla 1), dificultando aún más labor de organizar el producto dentro de la bodega. Para ayudar a mitigar este problema la empresa ha optado por una política, donde la bodega se mantendrá al 100% de su capacidad, y el 28.8% restante se almacena en una carpa ubicada en el patio de la bodega, el problema con esta medida es que la carpa no posee las medidas de seguridad necesaria para garantizar la inocuidad del producto (análisis que se presentará con mayor detalle en el capítulo 7.3, de este documento) y es imposible asignar un espacio adecuado para cada producto. Con el fin de analizar cómo afecta el producto obstruido al tiempo de ciclo del proceso de despacho, se realizó un análisis del proceso de despacho de vehículos con capacidad de 31,5 toneladas, ya que estos son los que más se ven afectados, debido a que se utilizan para transportar en promedio 6 referencias de producto de las 100 manejadas actualmente. Para determinar el tiempo promedio del proceso de despacho, se analizaron 2 escenarios (ver anexo 1), el primero que determina, cuánto se demoraría el cargue del camión si se hiciera de manera continua, es decir si todo el producto está disponible y no existen retrasos generados por producto obstruido y el segundo escenario donde se incluyen los tiempos en que se demora liberar el producto obstruido. Como resultado de este análisis, se

encontró que para el primer escenario, un camión es cargado en aproximadamente 32,29 min/camión, mientras que para el segundo escenario un camión es cargado aproximadamente en 85,50 min/camión, de acuerdo a estos resultados, se identifica que el tiempo de ciclo del proceso de despacho se ve afectado en aproximadamente 53,21 minutos (considerando los tiempos anteriormente mencionados). El análisis de estos dos escenarios también permiten calcular un promedio de 5 y 13 camiones cargados respectivamente para cada escenario por turno, es decir se dejarían de despachar 8 camiones por turno (7 a.m. – 2 p.m.) o 16 camiones al día en los dos turnos (7 a.m. – 10 p.m.) cuando se presentan problemas de producto obstruido.

Uno de los principales problemas que se presentan durante la preparación de una orden para el despacho debido a la presencia de producto obstruido es, incremento en el tiempos de desplazamiento mientras se logra ubicar la referencia de producto solicitada y posteriormente reubicando la que se encuentra bloqueando el acceso, la distribución de las actividades en el picking respecto al tiempo consumido es de 60% para desplazamiento, 25% para extracción, 10% para búsqueda y 5% para otros, se puede notar la importancia del desplazamiento como la actividad más demandante en términos de tiempo y su repercusión en la prestación de un buen servicio al cliente³.

Otro de los problemas que se presenta y refleja la necesidad de proponer una adecuada ubicación del producto terminado, es el relacionado con el nivel de averías generado por la reubicación de producto y el costo de su reproceso, el indicador de averías actualmente se encuentra en 0,9%, que representan aproximadamente 49,3Ton/mes, cuando el indicador objetivo propuesto por los dirigentes de la empresa es del 0.2%, que serían 10,95Ton/mes. De este porcentaje de averías, aproximadamente el 0,6% (32,85Ton) es ocasionado por la reubicación del producto al interior de la bodega, el otro 0,3% es ocasionado por

³ Ibid., p.319.

defectos de calidad o devoluciones del cliente por averías generadas en el transporte. Tomando como base un costo de reproceso aproximado de 203,44 pesos/Ton, las 32,85 Ton de averías ocasionadas por la reubicación del producto están representado costos por \$2´673.169 pesos/mes.

2. OBJETIVO GENERAL

Mejorar el desempeño del tiempo de ciclo actual del proceso de despacho en bodega de azúcar mediante una adecuada ubicación de su producto terminado.

2.1 Objetivos específicos

- Analizar la situación actual de la empresa, identificando sus funciones operativas y logísticas relacionadas con la operación en los centros de distribución.
- Determinar qué productos requieren mayor gestión, aplicando herramientas de análisis ABC multicriterio.
- Diseñar una propuesta para la ubicación de los SKU's más importantes en la bodega de producto terminado objeto de estudio, de acuerdo a los resultados obtenidos de la aplicación de las herramientas multicriterio y de asignación.

3. JUSTIFICACIÓN

Con la llegada de nuevos competidores al mercado y el fortalecimiento de los actuales, resulta difícil para una organización mantener la ventaja competitiva únicamente con el producto, ya que los clientes tendrán más posibilidades de escoger o adquirir productos sustitutos. Es por esto que las estrategias de hoy en día, no solamente se enfocan en la calidad del producto, sino también en las actividades logísticas necesarias para garantizar un nivel de servicio adecuado al cliente, ya que este puede proporcionar un factor diferenciador, el cual puede llegar a producir resultados tan poderosos como los generados por promociones o publicidad.⁴

El problema de la adecuada organización de un almacén puede abordarse desde varios enfoques, todos ellos en busca de mejoras en la distribución de un almacén, reducción en los tiempos de picking, mejoramiento en el nivel de servicio al cliente y reducción averías generadas por las labores internas. Buscar la eficiencia en los procesos ayuda a eliminar los costos innecesarios y mejorar su nivel de servicio al cliente, dicho por Bartholdi y Hackman⁵ *“travel time is waste. It costs labour hours but does not add value”*.

Antes de que un producto sea enviado al cliente, este debe almacenarse en una ubicación adecuada que permita su rápida recuperación al momento que sea requerido. Saber en todo momento la ubicación donde está almacenado el producto, permite a la empresa una gestión más adecuada de sus existencias, generando tiempo de ciclos más cortos en los procesos de recolección (*picking*)⁶.

⁴Gutiérrez, Oscar Parada. Un Enfoque Multicriterio para la Toma de Decisiones en la Gestión de Inventarios. En Cuadernos de Administración de la Universidad Pontificia Bolivariana, 2009. ISSN 1900-7205. p. 169-187.

⁵ Bartholdi y Hackman. Citado por De Koster, R, Le-Duc T and Roodbergen, K.J. Design and control of warehouse order picking: a literature review. European Journal of Operational Research, 2007.p. 481-501.

⁶ Hackman, S., & Bartholdi, J. WAREHOUSE & DISTRIBUTION SCIENCE. (21 de Agosto de 2011). p.12.

La implementación de herramientas de ingeniería industrial, que son las propuestas en las que se basa este trabajo, permitirán a la empresa lograr posibles mejoras en las operaciones relacionadas con el almacenamiento y despacho del producto, generando a su vez mejoras en el nivel de servicio al cliente relacionado con el tiempo de despacho del producto, reducción de averías y permitiendo reducir a niveles aceptables el problema de productos obstruidos que actualmente afecta a la empresa.

La elaboración de este trabajo además de buscar la solución a un problema planteado, también pretende ampliar el conocimiento de sus elaboradores, en la gestión de los inventarios, mediante la investigación de métodos y herramientas existentes para la mejora y control de inventarios.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Para realizar un análisis adecuado de la situación actual del centro objeto de estudio, se consultan artículos y trabajos sobre indicadores y aspectos que se deben tener en cuenta en los centros de almacenamiento y distribución. Primero se resalta una investigación de **Gua, Goetschalckx, F. McGinnis**⁷, que presenta una revisión a la literatura existente acerca de las consideraciones que deben tomar en cuenta los administradores o encargados de un Centro de Distribución (CD) previas al diseño o creación de un almacén y como inciden algunas características en su rendimiento.

El documento toma en cuenta 5 aspectos para tomar decisiones, estos son:

- **Estructura del almacén:** donde se deberá determinar la configuración del flujo de material, departamentos funcionales y como se interrelacionan estos.
- **Tamaño y dimensionamiento de los departamentos:** se deberá calcular el espacio requerido para cada departamento dentro del almacén.
- **Layout de cada departamento:** Se deberá definir como estará configurado cada departamento, con el fin de garantizar su buen desempeño.
- **Selección de equipamiento:** Relacionado con todos los equipos y herramientas necesarias con las que se deberá disponer para garantizar el adecuado funcionamiento de las actividades de almacenamiento, transporte, order picking y shipping.

⁷ Gua, Goetschalckx, F. McGinnis. Warehouse Design and Performance Evaluation: A Comprehensive Review. European Journal of Operational Research, 2010, vol.203.ISSN 0377-2217. p. 539–549.

- **Selección de estrategias operacionales:** son estrategias utilizadas para las operaciones de picking que se deberán establecer con el fin de lograr un desempeño adecuado de las actividades que involucra un almacén (Tabla 1).

Tabla 1. Actividades de almacenamiento y estrategias utilizadas para la operación de picking.

Actividades de almacenamiento	Estrategias utilizada para la operación de picking
<ul style="list-style-type: none"> - Random storage - Dedicated storage - Class-based storage 	<ul style="list-style-type: none"> - Single order picking - Batching with sort-while pick - Batching with sort-after-pick - Sequential zoning with single order picking. - Secuential zoning with batching - Concurrent zoning without batching - Concurrent zoning with batching

[Fuente: Adaptado de Warehouse Desing and Performance Evaluation: A Comprehesive Review, Gua, Goetschalckx, F. McGinnis 2010]

Cada uno de los aspectos mencionados en la Tabla 1, son de gran importancia para un funcionamiento óptimo del CD, aunque se puede adaptar un establecimiento para convertirlo en un almacén, se recomienda concebir el almacén desde su construcción tomando en cuenta consideraciones futuras como expansión del CD o incrementos de la demanda. Para cada una de estas 5 áreas de decisión, el autor realiza una recopilación de métodos y técnicas propuestas por algunos investigadores que permitirán modelar y calcular lo requerido en cada una de ellas.

El segundo artículo consultado es de **Ilies, Turdean, Crisan**⁸, quien presenta a las empresas una manera de cómo ser competitivas, mediante la reducción de costos logísticos, con una buena administración de los productos, esto en últimas permite reducir los costos de los productos vendidos y proporcionar un mejor servicio al cliente, mejorando los tiempos de entrega y el nivel de cumplimiento de órdenes a tiempo. Proponen realizar mapeo del proceso y presentan la importancia de realizar medición del desempeño del sistema de almacenamiento, ya que es usada para comparar los indicadores obtenidos con estándares y determinar si el funcionamiento es adecuado o deben tomarse medidas, los indicadores están relacionados con las diferentes áreas del sistema de almacenamiento como son cumplimiento en las ordenes, administración de los inventarios, desempeño del sistema de almacenamiento, administración del espacio, despachos, superficies de almacenamiento, entre otros.

Para el análisis de los productos en los centro de distribución, una de las herramientas más conocidas y utilizadas en la gestión de inventarios, es la clasificación ABC, basada en el principio de Pareto, la cual, para el caso de los inventarios, se expresa así: —Alrededor del 20% de los SKU's corresponden aproximadamente al 80% de las ventas anuales de la empresa. Este principio es supremamente importante, ya que el nivel de inventario de todos los ítems no debe ser controlado de la misma forma.

Una forma más sencilla para realizar la clasificación ABC, es con base en el producto (Ec.1):

⁸Ilies, Turdean, Crisan. Warehouse Performance Measurement – A Case Study. En: Annals of the University of Oradea, Economic Science Series, 2009. p. 307-312

$$D_i \cdot v_i,$$

Ec. 1

El cual mide el valor anual de las ventas (o la demanda) de cada ítem i ,

Donde,

D_i = Demanda anual del ítem i [unidades/año]

v_i = Valor unitario del ítem i [\$/unidad]

Para definir cuáles ítems deben formar parte de cada clase (A, B ó C), de la frecuencia acumulada ordenada de mayor a menor se selecciona un porcentaje. Por lo general, los ítems clase A constituyen del 10 al 20% de los primeros ítems dentro de la clasificación, representando del 60% al 80% del valor total de las ventas anuales; los ítems clase B constituyen entre un 20% y un 40% del total de ítems, representando entre el 20% al 30% restante del valor anual; y los ítems clase C, usualmente los más numerosos, constituyen el resto⁹.

Benito Flórez¹⁰, explora con la metodología AHP propuesta por Saaty los resultados de incluir múltiples criterios para la toma de decisiones en la gestión de los inventarios, ya el método comúnmente usado es el de clasificación ABC con un solo criterio.

⁹ Vidal Holguín, Carlos Julio. Planeación, Optimización y Administración de Cadenas de Abastecimiento. Editorial Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística – Universidad del Valle, Santiago de Cali, 2010.

¹⁰ Flórez, Benito. Management of Multicriteria Inventory Classification. En: Mathl.Comput.Modelling, 1992, vol. 16, no. 12. ISSN 0895-7177. p. 71-82.

En primer lugar, el tomador de decisiones identifica todos los criterios de importancia para la decisión específica, segundo, estos criterios son jerarquizados, para determinar una importancia relativa entre los mismos, en tercer lugar, estos criterios deben multiplicar a cada valor de la matriz producto – criterio (normalizada). Por último se suma el valor de los criterios ponderados correspondiente a cada producto, para determinar su puntaje final, y así, establecer su clasificación ABC.

Jeddou¹¹, presenta modificaciones a dos modelos de clasificación ABC multicriterio basados en optimización de pesos lineal, uno es el modelo R propuesto por Ramanathan en el año 2006, el otro modelo es el modelo Ng propuesto por Wang Lu en el año 2007, para el modelo R mejorado se considera en la función objetivo los valores normalizados la matriz producto- criterio, en lugar de los datos en su estado natural, las modificaciones en el modelo Ng consisten de la eliminación la restricción que tiene como objetivo dar un orden o preferencia de un criterio sobre otro para evitar que se presente subjetividad en el modelo y al igual que para el modelo R mejorado en la función de optimización se incluyen los datos normalizados para cada ítem en cada criterio, posteriormente se procede a promediar el peso de cada criterio y se obtiene un peso final multiplicando el peso promedio del criterio por los valores normalizados, para ambos modelos se observaron que se presentaron cambios en la clasificación ABC de los productos, para los dos modelos R se observó una clasificación correcta del 40% de los ítems y para los modelos NG 60% de los ítems correctamente clasificados.

¹¹Jeddou. An Improvement of Two Multi-Criteria Inventory Classification Models. En: IOSR Journal of Business and Management, 2013, vol. 11, no.6. ISSN2319-7668. p. 21-27.

Aspectos a considerar para una buena gestión en los almacenes de las empresas (Centros de Distribución, CEDIS) es un artículo escrito por **Arrieta**¹², en el presenta una descripción de las prácticas y consideraciones necesarias para tener un almacén de clase mundial. Lo principal es definir el tipo de almacén que se requiere, bajo este criterio clasifica los almacenes en:

- **Utilizado para productos no perecederos:** Que no son afectados por el medio ambiente.
- **De distribución:** En el que se almacenan los productos con el fin de surtir a las grandes cadenas.
- **General de depósito:** Son almacenes en el que las personas pueden contratar servicios de almacenamiento para sus productos.
- **central o regional:** Donde el almacén se encuentra cerca de la planta de producción y se encarga de distribuir a puntos regionales, para que estos puedan suplir la demanda).

De acuerdo al tipo de empresa y sus necesidades, también recalca la importancia de definir el perfil de actividades de cada uno de los espacios de almacenamiento ocupados por un producto con el fin de mejorar la distribución al interior de la bodega y con ello mejorar el desempeño, para el perfil de actividades se realiza el conteo de veces que un espacio de almacenamiento es visitado en un lapso de tiempo y los espacios más visitados se posicionan más cerca al pasillo principal.

¹²Arrieta. Aspectos a considerar para una buena gestión en los almacenes de las empresas (Centros de Distribución, CEDIS). En: Journal of Economics, Finance and Administrative Science, 2011, vol.16, no. 30. ISSN 2077-1886. p. 84-96.

Sin embargo esto no es suficiente para tener un almacén de clase mundial, ya que se requiere de mejorar cada vez más en el desempeño al interior de este y por ello se describen las principales actividades que son llevadas a cabo en ellos y algunos indicadores de gestión que permiten medir el funcionamiento y determinar planes de mejora en los casos necesarios. Por último describe la importancia en la selección de los equipos de manejo de materiales en función del perfil de actividades de los productos y su ubicación dentro de la bodega.

Rezaei, Dowlatshahi¹³, compara la aplicación de una clasificación fuzzy logic, donde se realiza una clasificación de productos con base a criterios cuantitativos y cualitativos, con la clasificación ABC tradicional y clasificación por AHP, donde solo se tienen en cuenta criterios cuantitativos como la demanda y precios. El resultado de estos dos métodos es que una clasificación Fuzzy Logic, es más recomendable al método tradicional, ya que analiza más criterios relevantes a la hora de realizar una clasificación de los SKU`s, además de que al introducir la lógica difusa contiene elementos lingüísticos que permiten plasmar de manera más real la situación que se presenta con los SKU`s, el proceso de decisión que se lleva a cabo por parte de los administradores de los almacenes ayudando a mitigar el impacto de algunos criterios cualitativos que pueden afectar el modelo de gestión de inventarios, finalmente realiza una comparación de las ventajas y desventajas que presenta la metodología propuesta contra la aplicación del AHP para la clasificación de los inventarios.

¹³ Rezaei, Dowlatshahi. A Rule-Based Multi-Criteria Approach to Inventory Classification. En: International Journal of Production Research, 2009, vol.48, no.23. ISSN 1366-588X. p. 7107-7126

Gutiérrez¹⁴, también plantea que un sistema de gestión de inventarios eficiente, no trata por igual a todo los productos existentes, sino que se deben aplicar métodos de control a cada uno de los grupos (familias de productos identificadas), dependiendo del impacto que tengan estos sobre los ingresos o costos de la organización, o algunos otros criterios importantes definidos por la empresa. Con base a esto, en el artículo se utilizó dos enfoques para la ubicación y gestión adecuada de los inventarios, una de ellas es la clasificación ABC multicriterio (aplicada en el almacén de víveres y bebidas del Hotel Meliá Santiago de Cuba, a 125 productos) y la otra es la matriz de adquisición/índice de rotación (aplicada en el almacén de alimentos del restaurante Café Santiago, de la Compañía Palmares, en Santiago de Cuba, para la familia de productos congelados), como resultado de la implementación, se mostró la eficiencia de los dos métodos para clasificar y adoptar estrategias diferenciadas que sirven para mejorar la gestión de inventarios, y que su implementación, depende de la situación concreta de la aplicación.

Para lograr el tercer objetivo propuesto, que es la ubicación adecuada de las existencias que permita mejorar el tiempo de cargue de vehículos, **Le-Duc, Roodbergen**¹⁵, presenta una revisión de literatura acerca de 5 estrategias o elementos a considerar y que tienen gran impacto en la productividad de las operaciones de picking, primero menciona el layout del almacén, donde se debe tomar en cuenta las relaciones entre los departamentos a nivel interno (ubicación de producto, estibas, estanterías, utillaje). El segundo elemento es la estrategia para la asignación de espacios de almacenamiento, nombra varios de los métodos más utilizados en las diferentes industrias como son la asignación de espacios

¹⁴ Gutiérrez, Oscar Parada. Un Enfoque Multicriterio para la Toma de Decisiones en la Gestión de Inventarios. En: Cuadernos de Administración de la Universidad Pontificia Bolivariana, 2009. ISSN 1900-7205. p. 169-187.

¹⁵ Koster, Le-Duc, Roodbergen. Design and Control on Warehouse Order Picking: A literature review. En: European Journal of Operational Research, 2007, vol. 182. ISSN 0377-2217. p. 481-501.

divida en zona de almacén para la selección de producto y de reaprovisionamiento, almacenamiento basado en clases mediante la clasificación de herramientas como el COI o tomando diferentes criterios como el volumen de recogida, grupos de familias. El tercer elemento es la estrategia des-zonificación en la que se divide el almacén en diferentes zonas y se asigna un recolector a cada zona, logrando reducir los tiempos de picking mediante la especialización o conocimiento del área asignada. La cuarta estrategia es el Batchíng o agrupación órdenes pequeñas, cuyo objetivo busca reducir los tiempos de viaje. Los criterios para la agrupación son principalmente la proximidad de los productos presentes en las órdenes y las ventanas de tiempo, La quinta estrategia consiste de la aplicación de diferentes métodos de ruteo (TPS, Heurísticas) que sirven para secuenciar el orden en que van a ser recogidos los ítems de un pedido, generalmente estos tienen como objetivo la reducción de tiempos de viaje o de distancias.

Ming, Chia-ping Lin, Mu-Chen¹⁶, proponen un enfoque heurístico adaptativo basado en programación binaria para determinar a qué producto se debe asignar una locación en un centro de distribución, se enfoca en la determinación de la asignación debido a que según estudios anteriores la preparación de los pedidos para ser despachados es la labor más demandante de las actividades relacionadas con el manejo de un almacén. Primero presenta una revisión de diferentes métodos de almacenamiento como son el aleatorio, basado en criterio de rotación de los productos y en la proximidad al área de despacho, el enfoque propuesto por los autores propone la utilización de un índice de asociación entre los productos, este índice depende de la cantidad de veces que dos productos o más aparecen en una orden de clientes y va a ser tomado en cuenta para posicionarlos en una misma estantería o pasillo, la propuesta se presenta como un

¹⁶Ming, Chia-ping Lin, Mu-Chen. The Adaptative Approach for Storage Assignment by Mining Data of Warehouse Management System for Distribution Centers. En: Enterprise Information Systems, 2010, vol.5, no. ISSN 1751-7583.p219-234.

método que permite mejorar la eficiencia operativa de un centro de distribución disminuyendo los tiempos de recorrido en el momento de la preparación de un pedido, conllevando mejoras en el nivel de servicio y un sistema que responde a los cambios en las tendencias de consumo de los clientes.

5. PROPUESTA METODOLÓGICA

A continuación se presenta el esquema de trabajo que se planea utilizar para analizar la situación actual dentro de la bodega de producto terminado objeto de estudio y el desarrollo de la propuesta de mejora al problema:

5.1 Analizar la situación actual del centro de almacenamiento objeto de estudio, identificando sus funciones operativas y logísticas relacionadas con la operación en los centros de distribución.

La descripción de la situación actual, es el proceso de observación y descripción del fenómeno dado, recopilando información a través de datos históricos, entrevistas y observación como método descriptivo, que permite al investigador familiarizarse con el contexto del problema planteado identificando las características cualitativas y cuantitativas que definen su conducta.

5.1.1 Recopilar información acerca de los procesos de almacenamiento, recogida y despacho en la bodega de producto terminado.

Como fuente primaria se buscare información oral y escrita, que permita conocer el comportamiento y las variables físicas que caracterizan al almacén de producto terminado. Las fuentes secundarias utilizadas para la recolección de la información serán libros, revistas, tesis y artículos relacionados con temas de logística.

5.2 Determinar los productos que requieren mayor gestión, aplicando las herramientas de análisis ABC multicriterio consultadas.

Para seleccionar las herramientas a utilizar para la clasificación de los productos e identificar cuáles requieren una mayor gestión, se hará una investigación en trabajos de grado y artículos publicados en diferentes bases de datos. Tomando en cuenta los resultados de la revisión bibliográfica, se procederá a seleccionar uno o más métodos que se adapten a las características del centro objeto de estudio y permita solucionar el problema planteado.

5.2.1 Preparar la información en el formato requerido para llevar a cabo la implementación de las herramientas multicriterio seleccionadas y proceder con la aplicación.

La información recopilada en el centro objeto de estudio se almacenara en Excel, que se utilizará como herramienta de cálculo para la aplicación de los métodos multicriterio seleccionados. En caso de ser necesario para la aplicación de los modelos se utilizaran herramientas como lenguaje de modelación MINTO (AMPL) v3.1.

Según la revisión bibliográfica el criterio más ampliamente utilizado por las empresas cuando desean clasificar los productos de acuerdo a niveles de importancia, es el ingreso por ventas en la clasificación ABC, aunque diferentes metodologías han demostrado ser más eficientes, en este trabajo, se desea saber cuál sería el resultado de aplicar un método simple, tanto para conseguir la información, como de llevar a cabo su aplicación, comparando los resultados con otros métodos que requieren de mayor profundización.

5.2.2 Organizar los resultados obtenidos

Realizar análisis de la información haciendo uso de tablas y de gráficos que permitan comparar entre los resultados de las metodologías multicriterio y la clasificación ABC clásica para posteriormente concluir los resultados del análisis.

5.3 Diseñar una propuesta para la ubicación de los SKU's más importantes en la bodega de producto terminado objeto de estudio, de acuerdo a los resultados obtenidos de la aplicación de herramientas de asignación.

Hacer uso de herramientas que permitan determinar la ubicación de cada producto al interior de la bodega, para esto se utilizarán modelos como el COI, programación lineal, de acuerdo con las metodologías consultadas y que sean aplicables al proyecto de investigación de acuerdo a la disponibilidad de información.

5.3.1 Presentar las propuestas de distribución

Con la nueva ubicación, resultado de la aplicación de los modelos de asignación evaluados, se ubicarán los resultados en planos que permitan representarlos gráficamente para su posterior análisis, como evaluar la cantidad de productos obstruidos que genera cada configuración de productos según la herramienta de asignación utilizada y verificar que los productos de mayor rotación para la empresa sean asignados a los lugares más convenientes para el proceso de despacho.

5.3.2 Evaluar los resultados de los modelos aplicados y la situación actual.

Establecer indicadores de comparación (tiempo de picking, número de obstruidos) entre los modelos evaluados y la situación actual de la empresa que permita justificar las inversiones en la implementación de técnicas matemáticas como herramientas de gestión.

5.3.3 Preparar propuesta

Una vez se termine con el análisis de los datos y se concluyan los resultados, se realizará la propuesta de ubicación de producto terminado en la bodega objeto de estudio.

6 MARCO TEÓRICO

6.1 Clasificación ABC Tradicional

Una de las herramientas más conocidas y utilizadas en la gestión de inventarios, es la clasificación ABC, basada en el principio de Pareto, la cual, para el caso de los inventarios, se expresa así: —Alrededor del 20% de los SKU's corresponden aproximadamente al 80% de las ventas anuales de la empresa. Este principio es supremamente importante, ya que el nivel de inventario de todos los ítems no debe ser controlado de la misma forma.

Una forma más sencilla para realizar la clasificación ABC, es con base en el producto $D_i \cdot v_i$, el cual mide el valor anual de las ventas (o la demanda) de cada ítem i ,

Donde,

D_i = Demanda anual del ítem i [unidades/año]

v_i = Valor unitario del ítem i [\$/unidad]

Para definir cuáles ítems deben formar parte de cada clase (A, B ó C), de la frecuencia acumulada ordenada de mayor a menor se selecciona un porcentaje. Por lo general, los ítems clase A constituyen del 10 al 20% de los primeros ítems dentro de la clasificación, representando del 60% al 80% del valor total de las ventas anuales; los ítems clase B constituyen entre un 20% y un 40% del total de ítems, representando entre el 20% al 30% restante del valor anual; y los ítems clase C, usualmente los más numerosos, constituyen el resto, contando por una

pequeña parte del total de la inversión en inventario, la cual normalmente no pasa del 10% del total de ventas de la empresa¹⁷.

6.2 Herramientas de Clasificación Multicriterio

Como se menciona anteriormente, el propósito de implementar herramientas multicriterio en la ejecución de este trabajo, es analizar cómo influyen los criterios y la importancia otorgada a cada uno, al momento de calificar los ítems, por lo tanto, antes de empezar con la descripción de las herramientas multicriterio, se hará una descripción de los criterios de decisión que se utilizarán para la clasificación de los ítems.

6.2.1 Analytic Hierarchy Process (AHP)

Herramienta propuesta por Benito Florez¹⁸, la cual se basa, en los principios del AHP, de Saaty y busca mediante una comparación por pares, jerarquizar los criterios seleccionados teniendo en cuenta consideraciones cualitativas (otorgadas por el jefe de bodega), una vez definida la jerarquía entre los criterios, se utilizan estos datos para evaluar la matriz producto-criterio normalizada, esta herramienta puede dividirse en 5 pasos que son:

Paso 1: Establecimiento de las prioridades entre los criterios de decisión

El objetivo de este paso es construir un vector de prioridades o pesos que evalúa la importancia relativa que la unidad decisora otorga a cada criterio.

¹⁷Vidal Holguín, Carlos Julio. Planeación, Optimización y Administración de Cadenas de Abastecimiento. Editorial Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística – Universidad del Valle, Santiago de Cali, 2010.

¹⁸Flórez, Benito. Management of Multicriteria Inventory Classification. En: Mathl.Comput.Modelling, 2010. vol. 16 no.12. ISSN 0895-7177. p. 71-82.

El método AHP utiliza una estrategia de asignación indirecta por la que el decisor sólo tiene que realizar una valoración sobre la importancia del criterio verbalizada en términos cualitativos y después acudir a una escala (Tabla 2), que previamente ha sido establecida para obtener los valores numéricos que corresponden con su valoración.

Tabla 2. Escala de importancia AHP.

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia.	Dos actividades contribuyen por igual al objetivo.
3	Importancia moderada de un elemento sobre otro.	La experiencia y el juicio están a favor de un elemento sobre otro.
5	Importancia fuerte de un elemento sobre otro.	Un elemento es fuertemente favorecido.
7	Importancia muy fuerte de un elemento sobre otro.	Un elemento es muy dominante.
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro.	Un elemento es favorecido por al menos un orden de magnitud de diferencia.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes.	Se usan como compromiso entre dos juicios.
Incrementos 0,1	Valores intermedios en incrementos.	Utilización para graduación más fina de juicios.

[Fuente: Adaptado de How to make a decisión: The Analytic Hierarchy Process, Saaty 1990]

Luego que el decisor establece las prioridades mediante comparación entre pares y se determinan los pesos relativos de los criterios. Se debe construir una matriz R (Ec.2), de tal modo que el término r_{ij} represente la prioridad relativa entre el criterio C_i y el criterio C_j respecto a la meta del problema. Este término será mayor, igual o

inferior a uno dependiendo de cuál de los dos criterios sea más importante para el logro de la meta.

La matriz obtenida es de la forma:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & 1 & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde

$r_{ij} \cdot r_{ji} = 1$. Una Matriz con esta propiedad se denomina matriz recíproca.

Obtenida la matriz de comparación pareada entre criterios se estima el valor de los pesos de los criterios aplicando el siguiente procedimiento:

- a) Obtener la matriz normalizada (R_{Norm}), dividiendo cada elemento de la columna j -ésima por la suma de todos los elementos de dicha columna.

$$R_{Norm} = \left[r_{ijNorm} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^n r_{ij}} \right] \quad \text{Ec. 3}$$

- b) Estimar el vector de pesos (\hat{w}) calculando el promedio de cada fila de la matriz normalizada (R_{Norm}). El vector \hat{w} de pesos será igual a:

$$\hat{w} = \left[\hat{w}_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_{1j}^{Norm}, \hat{w}_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_{2j}^{Norm}, \dots, \hat{w}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_{ij}^{Norm}, \dots, \hat{w}_n = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_{nj}^{Norm} \right] \quad \text{Ec. 4}$$

Paso 2: Comprobar la consistencia de los juicios

Si R fuera una matriz completamente consistente, es decir si satisface la condición $r_{ik} \cdot r_{kj} = r_{ij}$, entonces el λ_{max} (el valor propio máximo de la matriz R) sería igual a n. Sin embargo, el decidor podría cometer ciertas inconsistencias en sus juicios y resulta conveniente medir el grado de inconsistencia de los juicios emitidos por el decidor, dado que si no se ha sido cuidadoso con las valoraciones, el vector de prioridades o pesos obtenidos puede ser poco representativo. La consistencia se puede medir mediante el índice de consistencia (IC), que tiene la siguiente expresión:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad \text{Ec. 5}$$

Esta medida puede utilizarse para mejorar la consistencia de los juicios si se la compara con el número apropiado de la Tabla 3, que recoge el índice de consistencia aleatorio (IA):

Tabla 3. Índice de consistencia aleatorio (IA) en función de la dimensión de la matriz (n).

n	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404
n	9	10	11	12	13	14	15	16
RI	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570	1.583	1.595

[Fuente: José Antonio Alonso, M^a Teresa Lamata. Consistency In The Analytic Hierarchy Process: A New Approach, 2006].

El índice de consistencia aleatorio (IA) se define como el índice de consistencia aleatorio medio obtenido mediante la simulación de 100.000 matrices recíprocas generadas aleatoriamente utilizando la escala de Saaty (1/9, 1/8, ..., 1, ..., 8, 9).

El cociente entre el índice de consistencia (IC) y el índice de consistencia aleatorio (IA), determina el ratio de consistencia (RC).

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

Ec. 6

Donde,

- Si $RC = 0$, la matriz es consistente.
- Si $RC \leq 0,10$, la matriz R tiene una inconsistencia admisible, lo que significa que se la considera consistente y el vector de pesos obtenidos se admite como válido.
- En caso de que $RC > 0,10$, la inconsistencia es inadmisibles y se aconseja revisar los juicios.

Paso 3: Normalizar los datos de los criterios a evaluar

Para que las calificaciones finales de cada uno de los items, representen resultados coherentes, los datos de los criterios a evaluar, deben estar en las mismas unidades, para ello se deberán normalizar la tabla de criterios con la siguiente formula:

$$Y_{ij}^* = \frac{Y_{ij} - \text{MIN}_i}{\text{MAX}_i - \text{MIN}_i} \quad \text{Ec. 7}$$

[Fuente: Management of Multicriteria Inventory Classification, Benito E. Flores (1992)]

Donde,

Y_{ij}^* = valor normalizado del criterio j para el producto i.

Y_{ij} = valor del criterio j para el producto i.

MIN_i = Valor mínimo en el criterio evaluado para el producto i.

MAX_i = Valor máximo en el criterio evualuado para el producto i.

Paso 4: Calcular el puntaje final del item i.

Una vez obtenidos los pesos de los criterios a evaluar y verificado su consistencia, se procede con la clasificacion de los items, utilizando la siguiente formula:

$$\text{Puntaje final del item } i = \sum_{j=1}^n w_j * Y_{ij}^* \quad \forall i = 1, 2 \dots m \quad \text{Ec. 8}$$

[Fuente: Management Of Multicriteria Inventory Classification, Benito E. Flores (1992)]

Donde,

w_j = peso del criterio j

Y_{ij} = valor normalizado del criterio j del producto i.

Paso 5. Clasificación de los Items.

Para la clasificación ABC, se organizan los resultados de puntaje final del ítem de mayor a menor y se forman las clases con las mismas cantidades de producto que los resultantes de la aplicación de la clasificación ABC clásica.

6.2.2 Modelo R*

El modelo de programación lineal a aplicar es el modelo R*, una propuesta de mejoramiento realizada por Jeddou (2013) al modelo R presentado por Ramakrishnan Ramanathan (2006), a continuación se presenta el modelo matemático:

Función objetivo:

$$F(x) \text{ Max} \sum_{j=1}^J W_{ij} \times Y_{ij}$$

Ec. 9

Donde,

Y_{ij} = valor normalizado del producto i en el criterio j

W_{ij} = El peso o importancia otorgada al ítem i en el criterio j.

Sujeto a las siguientes restricciones:

- Determinar la importancia del producto tomando en consideración los l productos disponibles.

$$\sum_{j=1}^J W_{ij} \times Y_{nj} \leq 1, n=1, 2, \dots, N. \quad \text{Ec. 10}$$

- Cada producto i debe tener una importancia y por lo tanto debe ser mayor que 0.

$$W_{ij} \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, J$$

Donde,

Y_{nj} = valor normalizado del producto n en el criterio j, y n es el producto del cual se desea obtener el peso.

Este modelo busca maximizar el puntaje de cada ítem para encontrar el óptimo, Tiene una desventaja y es que requiere que el modelo se evalúe para cada uno de los productos.

Antes de iniciar con la modelación, se deben normalizar los datos de la matriz producto–criterio, haciendo uso de la ecuación presentada en el paso 3, del método AHP, anteriormente presentado.

$$Y_{ij}^* = \frac{Y_{ij} - \min_{i=1,2,..,I\{Y_{ij}\}}}{\max_{i=1,2,..,I\{Y_{ij}\}} - \min_{i=1,2,..,I\{Y_{ij}\}}}$$

Ec. 11

En la tabla 4, se presenta el criterio de asignación de un producto a cada clase.

Tabla 4. Criterio de clasificación ABC modelo R*.

Clase	Ponderación del producto
A	>= 0.86
B	0.60-0.86
C	<= 0.6

[Fuente: Adaptado de Jeddou. An Improvement of Two Multi-criteria Inventory Classification Models 2013].

6.3 Técnicas de Almacenamiento

Las estrategias para almacenar un producto según Jinxiang Gu, Marc Goetschalckx y Leon F. Mc Ginnis(2010)¹⁹ pueden clasificarse en tres grupos que son:

- **Almacenamiento aleatorio**

Es una técnica donde los productos/materiales dentro de la bodega son organizados en espacios aleatorios, es decir en el primer espacio que se encuentre disponible, generalmente se utiliza menor espacio que en el almacenamiento dedicado (sistema de almacenamiento utilizado actualmente en

¹⁹Jinxiang, Goetschalckx, & F., L. Research on Warehouse Design and Performance evaluation: A comprehensive review. European Journal of Operational research, 2010, vol. 203. ISSN 0377-2217. p.539-549.

la bodega objeto de estudio, pero que está afectando la eficiencia en el proceso de despacho, ya que en promedio 61 de los 100 ítems almacenados permanece con problemas de obstrucción).

- **Almacenamiento dedicado**

En esta política de almacenamiento se busca una ubicación para cada referencia dentro del centro de distribución o bodega de almacenamiento, la asignación de espacio en el almacén se realiza tomando como base diferentes criterios tales como, nivel de inventario, rotación, demanda, número de veces que un puesto es visitado en un periodo de tiempo, entre otros (ver anexo2).

- **Almacenamiento basado en clases**

Esta política divide los productos en diferentes clases, a cada una de ellas se le asigna un área dedicada para su almacenamiento, pero la organización al interior de cada zona definida, se realiza de manera aleatoria para los productos pertenecientes a la misma clase. Su ventaja radica en que asigna las mercancías de mayor movimiento cerca al punto de despacho consiguiendo disminuir los tiempos de recorrido para la recolección de órdenes. Para la propuesta de este trabajo se utilizará este sistema de almacenamiento, ya que permitirá asignar familiar de ítems (resultados de la evaluación ABC), a los mejores lugares dentro de la bodega, además se considera el más viable, ya que al interior de cada zona, se podrá manejar un almacenamiento aleatorio, medida que facilitará a la empresa una mejor operatividad en periodos de máxima utilización.

Hay dos tipos de almacenamiento basado en clases, estas son organización vertical y horizontal. En el modelo vertical los ítems de mayor rotación se posicionan en los niveles inferiores de la ubicación más cercana al punto de despacho (para el problema planteado los productos ubicados en las posiciones más altas serán mejores que los ubicados en las partes inferiores, ya en el

apilamiento de las estibas, primero se deben retirar las estibas de nivel superior para poder acceder a las de nivel inferior), por el contrario en el modelo horizontal simplemente se posicionan lo más cercano posible a la zona de despacho.

El problema de asignación en la literatura conocido como SLAP²⁰ (*Storage location assignment problem*) puede agruparse en tres categorías de acuerdo a la cantidad de información acerca de los productos en el almacén:

- **Asignación basada en la información del ítem:** asume que conoce completamente la información de los tiempos de entrada y salida de los productos, por lo tanto varios productos pueden ocupar la misma ubicación en diferentes periodos de tiempo. Aunque esta política puede ofrecer menores costos que las otras políticas, sus resultados resultan poco prácticos debido a que las suposiciones raramente se cumplen en la realidad, ya que requiere un seguimiento estricto a cada unidad almacenada, así como la variación en la demanda y un adecuado control de las salidas e ingresos, un ejemplo de esta política es el heurístico DOS (*Duration of Stay*) Goetschalckx and Ratliff (1990) en el que el DOS esperado para un ítem i de un SKU con un tamaño de lote para reposición Q es determinado como i/k en donde $i=1,2,3,\dots,Q$, y k es la tasa de demanda para dicho SKU. La regla de asignación para esta política es que los ítems de todos los productos con un menor DOS son asignados a las localizaciones más cercanas al punto de despacho.
- **Asignación basada en la información del producto:** los productos son clasificados en diferentes clases, el problema de asignación consiste en asignar un ítem específico a una clase de productos de acuerdo a unas características o criterios y posteriormente a cada clase se asigna una ubicación dentro del almacén. Cuando el número de clases es igual al

²⁰Jianxiang, Goetschalckx, & Leons. Research on Warehouse operation: A comprehensive review, En: European Journal of Operational research, 2007, vol.177.0377-2217. p. 1-21.

número de ítems se habla de asignación dedicada. Cuando todos los ítems pertenecen a una sola clase se conoce como asignación aleatoria, de otra manera es almacenamiento basado en clases.

Entre los diferentes criterios utilizados se encuentran:

- **Popularidad:** definida como el número de veces que se realiza una operación de almacenamiento o recuperación por unidad de tiempo, las clases con la mayor popularidad se asignan a las ubicaciones más deseables o cercanas al punto de despacho.
 - **Inventario máximo:** definido como el máximo espacio de almacenamiento asignado a una clase de productos, en el las clases con el más bajo inventario máximo son asignados a las mejores ubicaciones.
 - **COI (*cube per order index*)** presentado por Heskett (1963,1964) definido como el cociente entre el volumen promedio requerido para almacenar un producto y el número promedio de órdenes diarias en las que aparece dicho producto, tomando en cuenta tanto la política de popularidad como de requerimientos de espacio. La regla de decisión para este método es que si el COI es bajo lo más adecuado es ubicar el producto de dicho COI lo más cerca posible a la puerta de despacho. Entre las principales ventajas de utilizar dicho criterio se encuentran que lleva a obtener reducción en las distancias de recorrido, tiempo en los viajes a realizar y espacio utilizado.
 - Otros criterios consultados se presentan en el anexo 2.
- **Asignación no basada en información:** es utilizada cuando no se posee información acerca de los productos, generalmente hace uso de políticas de asignación aleatoria, *closet-open-location* (COL) asignando el producto

recibido a la localización más cercana o *longest-open-location* (LOL) escogiendo la ubicación que ha estado disponible por el tiempo más largo.

6.4 Programación Lineal

La Programación Lineal es una técnica matemática utilizada para dar solución a problemas que se plantean muy comúnmente en diversas disciplinas como Economía, Ingeniería, Sociología, Biología, etc. En esencia trata de maximizar y/o minimizar una función lineal de dos o más variables teniendo en cuenta que las mismas deben cumplir determinadas exigencias derivadas de la escasez de recursos disponibles en la realidad²¹.

Asignar recursos escasos, es un problema que se conoce desde la antigüedad, sin embargo, solo hasta la década de los 40 del siglo XX, varios grupos de investigadores (matemáticos, economistas y físicos), entre los cuales se destaca George B. Dantzing (1963), sentaron las bases para la solución de problemas de programación lineal y no lineal.

Un modelo matemático cuenta con cuatro componentes principales que son: la función objetivo, las variables de decisión, las restricciones y los datos o parámetros, que se explicaran a continuación²²:

- **Función objetivo:** La función objetivo surge a partir de una *pregunta general ó fundamental* que una empresa desea responderse, y es tradicionalmente única (si existen varias preguntas fundamentales, puede abordarse desde la optimización multiobjetivo, que no se tratara en este

²¹Ana Colo Herrera y H. Patrilli. Introducción a la Programación Lineal, 2003. p. 3-8.

²²Bravo, Juan j. Optimización de decisiones empresariales: Principios de descomposición, jerarquización y dualidad {en Línea}. (2013) disponible en: (<http://www.librosyeditores.com/tiendalemoine/3219-optimizacion-decisiones-empresariales-principios-descomposicion-jerarquizacion-dualidad-9789587650600.html>).

trabajo). Esta pregunta fundamental, puede expresarse de varias maneras, como se muestra en la tabla 5:

Tabla 5. Ejemplos de preguntas fundamentales y funciones objetivo relacionadas.

Pregunta Fundamental	Función Objetivo
¿Cómo se pueden disminuir los costos de manufactura?	Minimizar: Costos de Manufactura
¿Qué se debe hacer para mejorar las utilidades netas de la empresa?	Maximizar: Utilidades después de Impuestos
¿Cómo se podrían disminuir los costos de distribución?	Maximizar: Costos de logística de despacho
¿Qué proyectos de portafolio de inversiones deberían priorizarse?	Maximizar: Valor presente Neto de las inversiones y Minimizar el riesgo financiero (dos funciones objetivo relacionadas)

[Fuente: Bravo, Juan j. Optimización de decisiones empresariales: Principios de descomposición, jerarquización y dualidad 2013].

- **Variables de decisión:** es una variable, sobre la cual la empresa tiene control y poder de decisión, por ejemplo si se desea determinar en un modelo de optimización, la cantidad de vehículos (en unidades) a enviar desde varios centros de distribución a los clientes, minimizando sus costos relacionados. La variable de decisión en este caso sería la cantidad de vehículos que se deben enviar a cada cliente desde cada centro de distribución.
- **Parámetros:** es información que se posee del problema estudiado y permitirá al modelo seleccionar las mejores opciones, buscando lo propuesto en la función objetivo, retomando el ejemplo anterior “la cantidad

de vehículos a enviar desde varios centros de distribución a los clientes, minimizando sus costos relacionados”, los costos relacionados, serían los parámetros del modelo, ya que dependiendo de esto el modelo seleccionará la mejor solución.

- **Restricciones:** son aquellas limitaciones del modelo (relacionada con las limitaciones del sistema empresarial analizado), que restringen el valor que las variables pueden tomar. Matemáticamente las restricciones pueden ser de 4 tipos:
 - Endógenas tipo I: aquellas relacionadas con los “recursos escasos” de una organización.
 - Endógenas tipo II: aquellas asociadas con relaciones entre las variables.
 - Exógenas: aquellas relacionadas con exigencias del entorno.
 - Aquellas relacionadas a la clase de variables empleadas.

En la investigación de operaciones nos podemos encontrar con casos en los que la respuesta solo tiene un sentido real cuando los resultados son valores enteros, este tipo de problemas puede abordarse con la Programación Lineal Entera (PLE) o también conocida como Programación Entera (PE), en este tipo de modelos se encuentra uno que apoya la toma de decisiones cuando se debe seleccionar una alternativa y las únicas soluciones posibles son SÍ o NO. Con estos problemas, que solo nos permite seleccionar una de las dos respuestas, las variables son conocidas como variables binarias, que tienen la siguiente estructura:

$X_j = 1$ si la decisión j es sí

$X_j = 0$ de lo contrario.

En cuanto a los modelos de asignación en la revisión bibliográfica se encontró que la función objetiva en general busca asignar los productos en función de la frecuencia o probabilidad de compra, las principales restricciones encontradas fueron:

- Carlos Julio Vidal²³ propone utilizar un modelo de asignación que minimice los costos totales de manejo formulado con las siguientes restricciones, haciendo uso de variables de decisión enteras:
 - Cantidad de un producto a almacenar en una bodega debe cumplir con el mínimo del producto.
 - La cantidad de producto a almacenar no puede exceder la capacidad del espacio en que va a ser almacenado.
- Por su parte Yi-Fei Chuang , Hsu-Tung Lee y Yi-Chuan Lai²⁴ proponen un modelo de asignación usando variables de decisión binarias, que busca minimizar las distancias según la frecuencia de los pedidos, tomando en consideración la distancia desde el punto de entrada/salida al centro de la región de almacenamiento, la restricción utilizada en este caso es:
 - El producto debe ser asignado a una sola área de almacenamiento.

²³Vidal Holguín, Carlos Julio. Planeación, Optimización Y Administración de Cadenas de Abastecimiento. Editorial Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística – Universidad del Valle, Santiago de Cali, 2010. p. 347-349.

²⁴Chuang Yi-Fei, Lee Hsu-Tung, & Lai Yi-Chuan. Item Associated cluster Assignment model on storage location problems, En: Computers and Industrial Engineering, 2012. vol.63. ISSN 0360-8352.p.1173-1174.

7 DESARROLLO

7.1 Caracterización de Bodega de Producto Terminado

La bodega de almacenamiento objeto de estudio, posee una jornada laboral de 24 horas para la producción y almacenamiento, dividida en 3 turnos laborales (6 a.m. - 2 p.m.; 2p.m. – 10p.m.; 10p.m. – 6a.m.).

Para labores de despacho se cuenta con 2 turnos, el primero de 7 a.m. - 2p.m. y el segundo de 2 p.m. - 10p.m.

A continuación se describe la bodega objeto de estudio, detallando sus características estructurales, los procesos relacionados con el manejo de materiales al interior de la bodega, personal, maquinaria y herramientas utilizadas.

7.1.1 Infraestructura

El centro de distribución objeto de estudio es de forma rectangular (35.9 x 52.5) m², con un solo pasillo vertical de 5.8 m de ancho, dentro de este hay un pasillo peatonal de 0.7 metros de ancho y el resto, los 5.1 metros, es utilizado para el flujo del producto, por medio de montacargas, para las labores de almacenamiento y picking. La bodega se encuentra distribuida en 6 bahías de almacenamiento internas delimitadas por vigas de soporte (ilustración 2), 3 ubicadas al lado este y 3 al lado oeste de la bodega, separadas por el único pasillo vertical mencionado anteriormente. El techo de la bodega se encuentra a 15 metros del suelo, sostenido por las vigas de soporte.

Tabla 6. Utilización de capacidad total y Área utilizada para almacenar en bodega de producto terminado.

Porcentaje Utilización de capacidad en bodega de producto terminado	
Capacidad máxima de almacenamiento en bodega (numero de estibas)	2125
Capacidad de almacenamiento utilizada (numero estibas)	2737
%Utilización de capacidad de almacenamiento= (Capacidad de almacenamiento utilizada/ Capacidad máxima de almacenamiento en bodega)*100	128,8%
Porcentaje Utilización de área en bodega de producto terminado	
Capacidad de estibas sobre el suelo (numero de estibas)	656
Área ocupada por estiba (m ²)	1,8125
Área total ocupada (m ²)	1189
Área total de bodega (m ²)	1884.8
% área de bodega utilizada para almacenar=(área para almacenar/área total de bodega)*100	63.08%

[Fuente: Autores]

La bodega posee una demarcación de zonas poco visibles, posee una franja blanca de 70 cm de ancho alrededor de toda la bodega la cual sirve como flujo peatonal, además se utiliza para aislar el producto de rincones que pueden albergar plagas.

La bodega posee 3 extintores multiusos al interior ubicados en las vigas de soporte central.

El producto que maneja la bodega se almacena en pallets o estibas (1.25 m x 1.45 m), dedicando un solo tipo de ítem por estiba y cargada hasta una capacidad máxima de 2 toneladas.

El sistema de almacenamiento utilizado actualmente es el apilamiento en bloques, donde el producto se almacena en estibas y estas son ubicadas sobre el piso, además que una estiba es ubicada sobre otra. La altura de almacenamiento vertical depende de la carga que puede soportar el producto, definido como una altura máxima de 4 estibas para el producto embalado en material polipropileno de 50 kg (bultos blanco y natural), y una altura de 3 estibas para producto en bolsas de polietileno y polipropileno de 25kg (producto familiar de cualquier presentación y bultos de 25 kg).

7.1.1.1 Capacidad de almacenamiento

La bodega está compuesta por 6 bahías para almacenar y sus capacidades se describen en la tabla 7.

Tabla 7. Descripción de las capacidades de bahías de almacenamiento.

Descripción	Capacidad (Número de estibas sobre el suelo)	Almacenamiento vertical (Número de estibas)	Capacidad de almacenamiento (Número de estibas)	Área total de bodega
B1	49	3	147	1884.8m ²
B2	84	3	243	
B3	87	3	261	
B4	169	4	664	
B5	140	3	429	
B6	127	3	381	
Estibas sobre el suelo (numero de estibas)	656	Capacidad de bodega (numero de estibas)	2125	
Área por estiba (m ²)	1.8125			
Área total ocupada (m ²)	1189			
%=área ocupada/área total de bodega	63.08%			

[Fuente: Autores]

De acuerdo al sistema de almacenamiento descrito en las características del producto para el apilamiento en bloques, en promedio se tiene una capacidad total de 2125 estibas, ocupando un total de 656 puestos sobre el suelo o una área de 1189m².

En la bahía 1 de almacenamiento, se encuentran ubicadas 3 bandas transportadoras.

- 2 de ellas utilizadas para la recepción de producto proveniente de producción, a través de silos S3 y S4 (sacos en presentaciones de 50kg y 25 kg).
- 1 banda para alimentar silos S1 y S2 que se utilizan para embalar el producto en sus presentaciones familiares (presentaciones de 5kg, 2,5kg, 1k, 1lb).

En la bahía 2 de almacenamiento, hay ubicada una banda transportadora, utilizada para recepción de producto en presentación familiar para su posterior estibado y almacenamiento.

7.1.2 Proceso de Almacenamiento

El producto que proviene de producción, lo hace en presentaciones de 50kg o 25kg de azúcar blanco y/o crudo (natural), con diferentes clases de calidad, dependiendo de los requerimientos del cliente al que vaya a destinarse. Este producto es estibado y posteriormente almacenado.

7.1.2.1 Entrada de Azúcar embalado en bolsas de polipropileno

La entrada de azúcar embalado en material de polipropileno, lo hace en presentaciones de 25kg y 50 kg y provienen del silo S3 (si es crudo) y/o silo S4 (si es blanco).

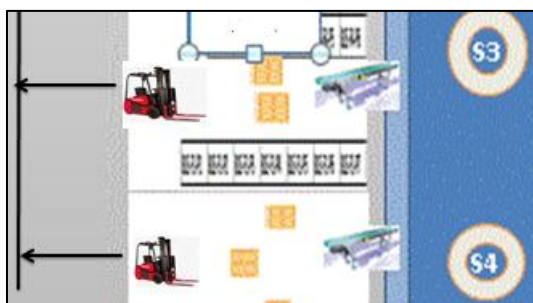


Ilustración 3. Entradas de producto embalado en sacos de polipropileno.

[Fuente: Autores]

La recepción de azúcar embalado en bolsas de polietileno (presentaciones de 5kg, 2,5kg, 1 kg y 1 libra), inicia con la alimentación de los silos S1 y S2 (capacidad 400 quintales cada uno) (ilustración4), con sacos de 50kg destinados para este fin, una vez se alcanza la capacidad máxima del silo, empieza el proceso de embalaje y transporte por banda hacia el área de estibado y almacenamiento.

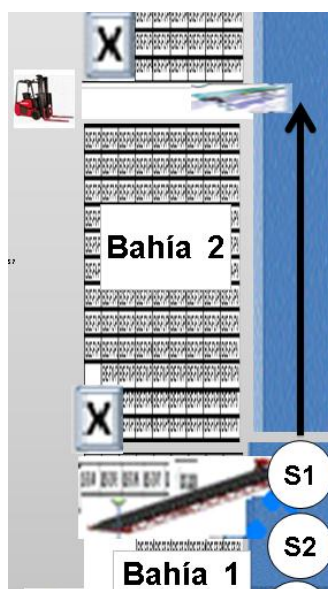


Ilustración 4. Recepción de producto embalado en bolsas de polietileno.

[Fuente: Autores]

El proceso de recepción puede describirse en el siguiente diagrama de flujo de proceso (Ilustración 5).

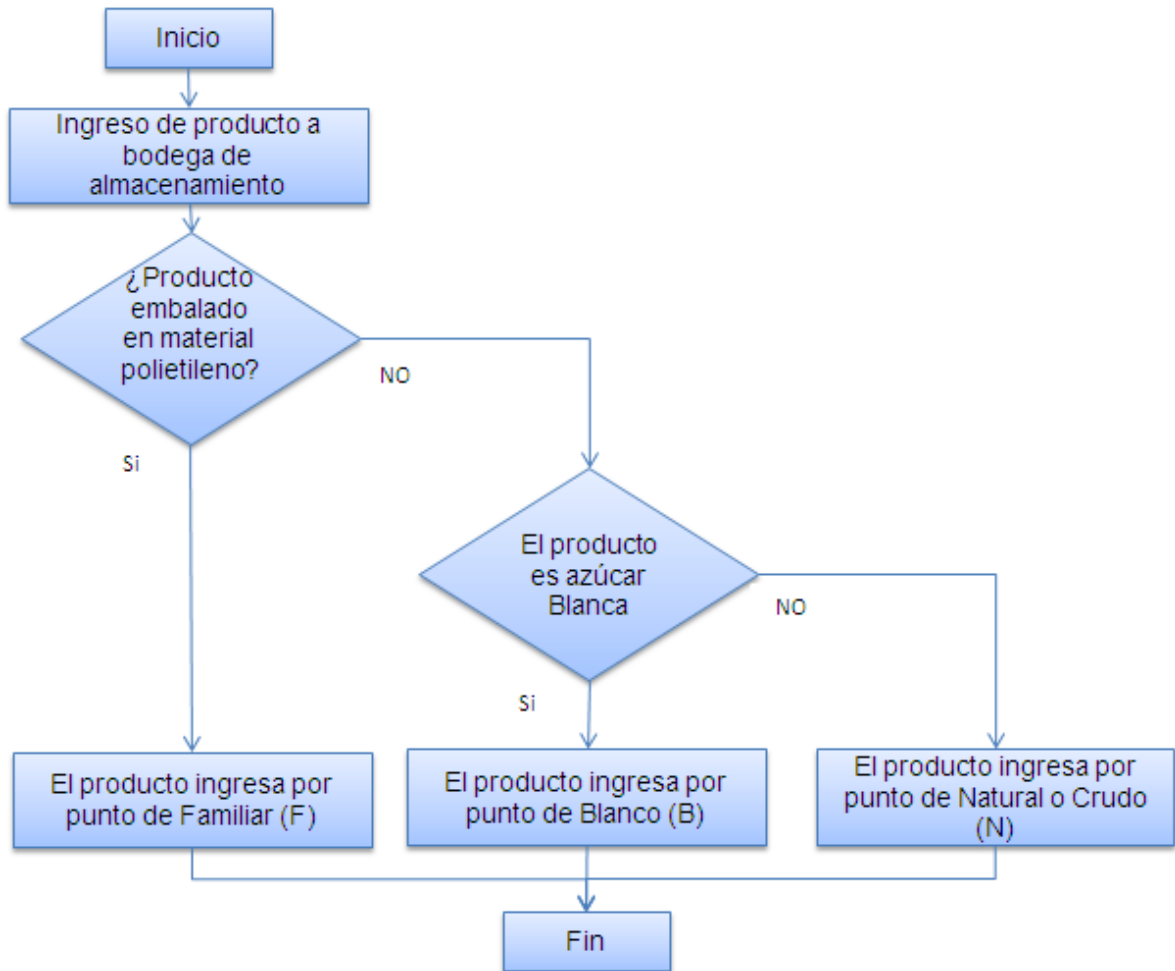


Ilustración 5. Diagrama de Proceso para recepción de producto en zona de almacenamiento.

[Fuente: Autores]

7.1.2.2 Estibado

Los estibadores, son las personas encargadas de recibir y acomodar el producto en estibas, organizadas de esta forma:

- Para las presentaciones de 50kg se ubican 5 sacos por tendido y 8 tendidos, para un total de 40 sacos por estiba (2000kg) (ilustración 6 (a)).
- Para la presentación de 25kg (sacos 25kg y producto en presentación familiar) se ubican 8 sacos por tendido y 10 tendidos, para un total de 80 sacos por estiba (2000 kg) (ilustración 6 (b)).

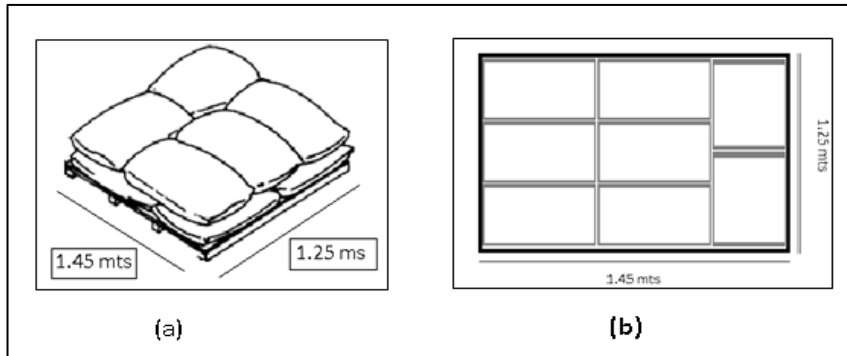


Ilustración 6. Estibado de producto: (a) presentación 50kg; (b) presentación de 25 kg.

[Fuente: Autores]

7.1.2.3 Almacenamiento

Una vez cargada la estiba ésta es transportada por el monta carguero (encargado también de ubicar estibas vacías al lado de los estibadores) hacia un lugar de almacenamiento en bodega, como se posee un sistema de almacenamiento aleatorio, el producto embalado, es almacenado en algún espacio disponible, en una de las bahías de la bodega, o donde el jefe de la bodega disponga y permanece ahí a la espera de ser retirado para ser despachado o reubicado.

La empresa actualmente posee un total de 100 referencias en sus registros, de las cuales en promedio se manejan 76 referencias por mes en el inventario.

7.1.3 Proceso de Despacho

El proceso de despacho de producto desde la bodega del ingenio azucarero, se considerará desde el momento en que se emite la orden “Lista de Cargue”, hasta el momento en que el vehículo es pesado en una báscula ubicada en la portería de la entrada de la fábrica (Ilustración 7), la cual permite verificar si el peso de la carga corresponde a la consignada en la Lista de Cargue. A continuación se describirán de manera más específica, los procesos realizados, entre estas dos actividades, las cuales se definieron como los límites para el proceso de despacho.

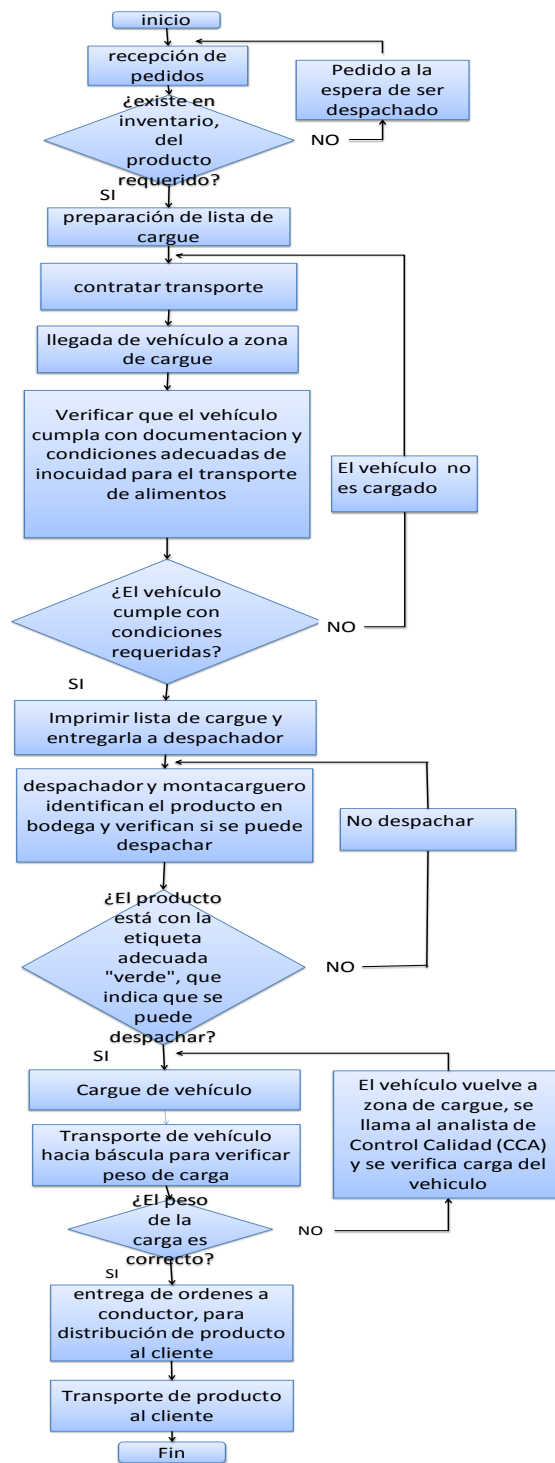


Ilustración 7. Diagrama de Flujo - despacho de producto

[Fuente: Autores]

7.1.3.1 Listas de cargue

El proceso de despacho del producto, empieza desde el momento en que se emite una Lista de Cargue, la cual se genera, cada vez que se prepara un despacho (proceso de subir pedidos a software “SAP”, revisar disponibilidad del producto, contratar transporte y revisar documentación). Una vez emitida la Lista de Cargue, esta es llevada al chequeador de despacho, que es la persona encargada de verificar que el producto que se despacha cumple con las condiciones adecuadas de inocuidad y corresponde con la orden de cargue, si se cumple con esto, el chequeador de despacho registra el número de lote del producto a despachar, con el fin de llevar la trazabilidad del mismo y se carga el producto.

7.1.3.2 Recolección de ordenes (picking)

Con la lista de cargue en mano, el chequeador da la autorización a los operarios de despacho (personas encargadas de maniobrar el producto, en las actividades de picking hasta el cargue del vehículo a despachar), para que se empiece a cargar el producto. Actualmente se cuentan con 13 personas, en el puesto de operarios de cargue, para cada uno de los 2 turnos que maneja la empresa para esta labor (7 a.m.-2 p.m. y 2 p.m.-10 p.m.).

Luego de que los operarios de cargue reciben la autorización, el monta carguero de turno, recibe una lista realizada por el chequeador, donde se encuentran las cantidades de producto que se deben despachar. Una vez el monta carguero recibe esta lista, procede a realizar el picking dentro de la bodega, el cual puede durar un promedio entre 1,2 minutos y 4,34 minutos por estiba despachada, dependiendo de si el producto se encuentra obstruido o no. El proceso de picking en la bodega del ingenio se realiza tratando de seguir una política FIFO, sin

embargo no se aplica eficientemente ya que se posee un sistema de apilamiento en boques, que impide la implementación eficiente de esta política, ya que el primer producto que entra va a ocupar los puestos del fondo de cada fila, por lo tanto no serán los primeros en ser despachados.

7.1.3.3 Cargue de vehículos

Para el cargue de los vehículos, se cuenta con 3 zonas de cargue, según la cantidad de personal con que se cuente en el momento y la cantidad de pedidos a despachar. Una vez el monta carguero ubica el producto que requiere, debe verificar que este no posea etiquetas rojas, amarillas o verdes con bordes naranja, las cuales indican que el producto no puede ser despachado (La descripción y el uso de los diferentes tipos de etiquetas se explicarán en el literal 7.1.3.4 de este documento), si el producto posee etiqueta verde, quiere decir que está disponible para el cargue, entonces el monta carguero, puede disponer del mismo y a continuación lo lleva hacia la zona de cargue ubicada en la entrada de la bodega. Actualmente para el proceso de cargue de los camiones, la empresa cuenta con 3 bandas transportadoras, lo que le permite cargar 3 camiones a la vez, si se cuenta con la cantidad de personal adecuado (se requieren 6 operarios de cargue por cada camión que se desee cargar, dos de ellos son los encargados de alimentar la banda transportadora y 4 ubicados en la carrocería del vehículo para acomodar el producto en el vehículo a despachar), una vez el camión o vehículo este cargado se verifica que el peso de la carga corresponde con el adecuado mediante una báscula ubicada en la portería de la fábrica, si es así, el vehículo recibe su factura de entrega y sale a distribuir el producto al cliente, si por el contrario, el peso de la carga difiere con el de la lista de cargue, se llama al analista de control calidad de turno y se verifica el cargue para determinar las causas del problema y dar solución al mismo.

7.1.3.4 Etiquetas usadas para identificar el producto según su condición

El azúcar almacenado en la bodega de producto terminado, debe estar identificado con alguna de las 5 etiquetas, utilizadas para identificar el estado del producto almacenado, a continuación se realiza una descripción de cada etiqueta:

- **Etiqueta Verde:** es utilizada con el fin de denotar que el producto se encuentra disponible para ser despachado en el momento en que sea requerido.
- **Etiqueta Roja:** indica que el producto no es apto para el consumo humano, por lo tanto no debe ser despachado, las acciones a tomar con este producto dependen de la gerencia y analistas de laboratorio, quienes determinan si el producto puede ser reprocesado o debe destruirse en casos de contaminación peligrosa para la salud.
- **Etiqueta Amarilla:** se utiliza para indicar que el producto se encuentra actualmente en estado de inspección, cuando un producto se encuentra en inspección, pueden ocurrir varias situaciones:
 - A. El producto proviene de una devolución externa:** Cuando un producto es devuelto por el cliente por motivo de avería, el analista de control calidad (CCA) de turno lo identifica con una etiqueta amarilla e indica el motivo de la devolución, para posteriormente ser analizado por el laboratorio y se determina si se puede reprocesar, reempacar o debería llevar una etiqueta roja, que se presentaría si el producto es considerado no apto para el consumo humano.
 - B. La calidad del producto o las concentraciones de sus componentes no correspondan a los requeridos por las NTC 607, 2085 y 611 para los productos de la empresa o a los requeridos por el cliente:** en este caso la etiqueta amarilla se utiliza

para informar a los despachadores que el producto no puede ser cargado, estos productos normalmente son reprocesados nuevamente si cumplen con las condiciones de higiene adecuadas.

C. Cuando el peso del producto no corresponde a los adecuados:

Cuando un producto está por debajo o por encima de la tolerancia permitida, es identificado con la etiqueta amarilla, y se coloca el motivo por el cual fue etiquetado, este tipo de producto, posteriormente son re empacados o se utilizan para alimentar silos, de Productos en presentación familiar (5kg, 2.5kg, 1kg, 500g).

- **Verde con borde naranja:** Se utiliza para indicar que el producto debe ser reprocesado.
- **Naranja:** Es utilizado con el azúcar empacada en bultos de 50 kg y se encuentra destinada para alimentar los silos que posteriormente van a ser usados para empacar las demás referencias de producto familiar (5kg, 2.5 kg y 1 libra).

7.1.4 Flujo de Información y documentación

El flujo de información y documentación en el área de almacenamiento y despacho, se considera desde el momento que el cliente realiza un pedido y factura su costo en el área de ventas, una vez realizado esto, se registra el pedido en el sistema a la espera de ser despachado.

Cuando el pedido ha ingresado al sistema, en el área de despacho, el supernumerario (encargado de la emisión de orden de cargue y otra documentación requerida), revisa los pedidos guardados en el sistema y verifica su disponibilidad en el inventario, si hay producto disponible, el supernumerario llama al portero del parqueadero automotor, para permitir el ingreso al

transportador que se encuentre en fila o al que la empresa allá seleccionado como adecuado para el transporte del producto.

El conductor designado, ingresa a zona de despacho y se dirige hacia donde el supernumerario de despacho, quien verifica la identificación del conductor y la matrícula del vehículo, si estos datos corresponden con la información registrada, se procede con la impresión de la “Lista de Cargue” y documentación requerida, luego esta se entrega al conductor para que se dirija donde el chequeador de cargue, quien registra y verifica que el producto cargado corresponde con lo pedido, Una vez hecho esto, el chequeador firma la Lista de Cargue y se la entrega nuevamente al conductor del vehículo para que se dirija donde el supernumerario de despacho y se la entregue, a cambio de esto el supernumerario entrega las facturas correspondientes al cliente y la documentación requerida para el transportador, finalmente el transportador lleva el producto al cliente con su facturación correspondiente.

7.1.5 Mano de Obra

El personal con el que cuenta la organización para las labores de almacenamiento y despacho en la bodega objeto de estudio es el siguiente:

7.1.5.1 Mano de obra – almacenamiento

- Recepción de azúcar blanco (bultos de 25kg y 50kg), Cuenta con 4 estibadores para cada uno de los tres turnos que se manejan (6 a.m-2p.m; 2p.m-10p.m; 10pm.-6a.m.),

- Recepción de azúcar crudo o natural (bultos de 25kg y 50kg), se tienen 2 estibadores, para cada uno de los 3 turnos.
- Recepción de producto en presentación familiar, se tienen 3 estibadores para cada uno de los 3 turnos.
- En las labores de almacenamiento de estibas, se tienen 2 monta cargueros para cada uno de los 3 turnos, donde uno es utilizado para el almacenamiento de producto que sale directamente de producción (S3 y S4) y el otro encargado de almacenar el producto familiar. Aproximadamente se estiban 300Toneladas por cada turno, es decir que en el día (3 turnos), se estiban 900Toneladas.

7.1.5.2 Mano de obra – logística y despacho

A continuación se presenta y describe, la mano de obra con que cuenta la bodega para las operaciones de logística y despacho.

- **Jefe de Bodega:** Se encarga del manejo de todo el personal del área, su función es dirigir y administrar adecuadamente las actividades realizadas dentro de la bodega, determinando los requerimientos para cada una de estas y los recursos necesarios, Además es quien se encarga del control del inventario de producto terminado.
- **Supervisor de Bodega:** Persona encargada de ayudar con los procesos logísticos dentro del área de almacenamiento, como lo son: ubicar el producto que se desee despachar, también ayudar al jefe de bodega con el control de actividades y manejo de personal.

- **Practicante Sena:** El área de bodega, cuenta con un practicante del Sena, el cual es la persona encargada de llevar registro del tiempo de uso de los montacargas y dar apoyo con algunas actividades necesarias para la correcta operación de la bodega.
- **Practicantes Universitarios:** Actualmente se cuenta con dos practicantes universitarios, uno encargado de realizar el almacenamiento de los datos de trazabilidad en el sistema y otro encargado de realizar seguimiento a la implementación de programas prerrequisitos de inocuidad determinados por la empresa.
- **Operarios de producción:** Son las personas encargadas de recibir el producto proveniente del área de embalaje y su estibación, de acuerdo al tipo de producto y su presentación. En la actualidad la empresa cuenta con 12 estibadores, para el caso del producto en presentaciones de 50k y 25kg, los cuales se encuentran distribuidos en tres turnos diarios de 4 estibadores por turno. Para el caso de los estibadores de producto empaquetado, existen 6 estibadores, distribuidos de 2 estibadores en cada uno de los 3 turnos.
- **Supernumerario de despacho:** es la persona encargada de generar las listas de cargue y demás documentación necesaria para el cargue y autorizar el ingreso de vehículos, en la actualidad se cuenta con dos personas encargadas de esta labor, para dos turnos diarios (de 6 am a 2 pm y de 2pm a 10pm).
- **Chequeador de cargue:** Es el encargado de llevar el control del cargue del producto, verificando que lo que se está despachando, corresponda con la lista de cargue, además de esto, el chequeador se encarga de registrar los datos de la trazabilidad de cada uno de los productos despachados, los cuales posteriormente serán registrados en computador por la persona encargada.

- **Operarios de cargue:** son personas encargadas del despacho del producto terminado (labores de picking y cargue de vehículos), estas personas están a cargo de una empresa llamada CONALTA S.A.
- **Monta-cargueros:** Dentro del área de almacenamiento de producto terminado del ingenio, existen 2 clases de monta cargueros, los cuales son:
 - a) **Monta-carguero de despacho:** Es la persona encargada de realizar las labores de picking y demás actividades relacionadas (organización de estibas y zonas de trabajo).
 - b) **Monta-carguero de producción:** Actualmente se cuenta con dos montacargueros, uno de ellos encargado del almacenamiento del producto que proviene directamente de los silos 3 y 4 (S3y S4), y el otro de almacenar el producto en presentaciones familiar, proveniente de los silos 1 y 2 (S1 y S2). Estos montacargas también pueden ser utilizadas para otras labores dentro de la bodega, como, mover algún producto que se encuentra obstruyendo a otro o cualquier otra operación que se requieran dentro del área e implique movimientos de estibas.

7.1.6 Maquinaria y Herramientas

En la bodega objeto de estudio, se utilizan las siguientes maquinarias y herramientas para sus labores de almacenamiento y despacho:

1. Montacargas

La empresa cuenta con 6 montacargas, 3 de ellos son propios y 3 alquilados (10.000 \$/hora de uso), en la actualidad solo se están usando los 3 montacargas

propios, los otros 3, permanecen inmóviles y se utilizan cuando las operaciones dentro de la bodega los requieran. De los 3 utilizados actualmente, 2 se utilizan para labores de almacenamiento (montacargas Caterpillar 1 y montacargas Motoy 03) y 1 para la recogida del producto (picking) (montacargas Caterpillar 3) (ilustración 8).



Ilustración 8. (a) Montacargas CATERPILLAR P6000; (b) Montacargas MOTOY 7FGU30.

Características Técnicas de Montacargas:

Las características de los montacargas con los que cuenta la empresa se describen en la tabla 8.

Tabla 8. Características de Montacargas: (A) CATERPILLAR P6000-LP4W, (B) MOTOY 7FGU30.

(A) CATERPILLAR P6000-LP4W.	(B) MO TOY 7FGU30.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Marca: CATERPILLAR ➤ Año: 2007 ➤ Modelo: P6000-LP4W ➤ Combustible: Gas ➤ Capacidad de carga: 3000 kg. ➤ Capacidad de elevación: 4.055m. ➤ Velocidad cargado/vacío: 18km/h ➤ Largo: 3,79 m ➤ Ancho: 1.275 m 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Marca: TOYOTA ➤ Año: 2007 ➤ Modelo: 8FGU30 ➤ Combustible: Gas ➤ Capacidad de carga: 3000 kg ➤ Capacidad de elevación: 4.8m ➤ Velocidad cargado/vacío: 18km/h ➤ Largo: 4,1 m ➤ Ancho: 1,4 m

[Fuente: CATERPILLAR P6000-LP4W. En:

http://www.unimaq.com.pe/IMG/producto/file/Eq_ManipuleoCarga_Montacargas_CAT_P6000.pdf, Y MOTOY 7FGU30.En:

<http://www.pintulac.com.ec/montacargas/docs/107.pdf>]

2. Bandas transportadoras

La bodega de almacenamiento objeto de estudio, actualmente cuenta con 7 bandas (Ilustración 9) distribuidas así:

- a) 1 banda para alimentar silos de producto empaquetado
- b) 1 banda para recibir bultos de 50 kg o 25kg de azúcar blanco.
- c) 1 banda para recibir bultos de azúcar crudo.

- d) 1 banda para recibir producto empaquetado.
- e) 3 bandas para el cargue del producto (estas pueden usarse todas a la vez, dependiendo de la cantidad de producto a cargar y de la cantidad de operarios de cargue disponible).



Ilustración 9. (a) Banda transportadoras, recepción producto blanco, natural y banda para alimentar silos para el producto familiar; (b) banda para cargue de camión.

3. Herramientas:

- A. Estibas (1.25 m x 1.45m) (ilustración 10).
- B. Cartones para estibas.
- C. Plásticos para proteger el producto almacenado.



Ilustración 10. Estibas

7.2 Clasificación ABC

Antes de ubicar el producto se deberá clasificar y determinar el nivel de importancia que cada uno de los ítems representa para la empresa, se realizó una matriz comparativa de las herramientas de clasificación encontradas en la revisión bibliográfica consultada (ver anexo 3) y se seleccionaron 3 herramientas que son: Clasificación ABC tradicional, que evalúa los ítems teniendo en cuenta un solo criterio (uso anual del dinero); La herramienta de Clasificación multicriterio AHP, propuesta por Benito Florez (1992), que permite evaluar varios criterios, ponderados de manera cualitativa (para la ponderación se contará con el criterio del jefe de la bodega); y otro modelo multicriterio que es llamado modelo – R* de Jedou (2013) como una modificación al modelo R presentado por Ramakrishnan Ramanathan (2006), que utiliza la optimización lineal para la clasificación de los ítems.

7.2.1 Criterios de decisión para la propuesta a realizar

Para la evaluación de los ítems de la bodega objeto de estudio, se utilizará la información del producto, ya que, como se mencionó en el punto 6.3 (Técnicas de Almacenamiento) de este documento, es más práctica que utilizar la información basada en el ítem (datos de entrada y salida del producto). Los criterios seleccionados son: rotación, ingresos anuales, número de ordenes en las que aparece el producto por año e inventario promedio de cada producto por mes (hacen parte de los criterios mencionados anteriormente y es la información disponible con la que cuenta el centro objeto de estudio y fue considerada junto con el jefe de bodega como, buenos parámetros de comparación, ya que caracterizan al producto), a continuación se describen cada uno de los criterios seleccionados.

- **Ingresos en precio de venta:** Este indicador muestra la participación de cada ítem en los ingresos totales de la empresa.
- **Rotación de inventario:** Este es un indicador utilizado para calcular la cantidad de veces que el *inventario* se debe reponer durante un determinado período de tiempo, generalmente un año. Es muy importante notar la inconveniencia de utilizar este indicador en forma aislada, ignorando el nivel de servicio a los clientes y los indicadores financieros de los inventarios.
- **Número de órdenes en las que aparece el producto por año:** Cantidad de veces que fue ordenado un producto en el año sin tomar en consideración si fue solicitado solo o en compañía de otros.
- **Inventario Promedio:** Es la cantidad promedio de producto que permanece almacenado en el mes.

Existen 2 propósitos con la aplicación de estas 3 herramientas, el primero es comparar los resultados de la calificación multicriterio AHP y modelo R* contra la clasificación ABC tradicional, analizando como varían los resultados, cuando se tienen en cuenta varios criterios y estos son ponderados de forma cualitativa y por optimización lineal. El otro propósito que se busca con la aplicación de estas 3 herramientas, es utilizarlas para asignar y posteriormente comparar con el COI(herramienta también utilizada para la ubicación de producto al interior de un centro de almacenamiento), evaluando cuál de ellas genera un menor tiempo de picking, que es la situación a mejorar en este trabajo.

Los resultados de la clasificación ABC (Ver anexo 4), se resumen a continuación (tabla 9).

Tabla 9. Resultados - Herramientas de clasificación ABC

	CLASICO			AHP			R*		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
CLASICO	A	11		54.5%	45.5%	0.0%	45.45%	18%	36.36%
				6	5	0	5	2	4
	B		21	23.8%	38.1%	38.1%	4.76%	47.62%	47.62%
				5	8	8	1	10	10
	C			0%	11.76%	89.71%	0%	1.47%	98.53%
				0	8	60	0	1	67
Total Clases				11	21	68	6	13	81

[Fuente: Autores]

De los modelos utilizados para la clasificación ABC de los productos (Tabla 9), se comparan AHP y R* con la clasificación ABC tradicional, donde la característica que distingue al AHP, R* y ABC clásico, es que los dos primeros clasifican los ítems evaluando varios criterios (para este trabajo se seleccionaron 4 criterios: Inventario promedio, Rotación del inventario, Ingresos por venta, Número de órdenes en las que aparece el producto), y el ABC clásico, que es el método más utilizado para clasificar ítems evaluando un solo criterio, que es el ingreso anual por producto.

A nivel general los resultados de la tabla 9, muestran que el modelo R* es más excluyente que las herramientas de clasificación ABC clásica y ABC utilizando AHP.

En la tabla 9, se observa que los resultados del método clásico para la clasificación de los 100 productos objeto de estudio, clasifica el 11%(11 ítems) como tipo A, 21% (21 ítems) como tipo B y 68%(68 ítems) tipo C.

- ABC clásico y ABC por AHP

En la clasificación AHP comparado con el modelo clásico, se observa que el 54,5% (6 ítems) considerados como tipo A en el método clásico continúan siendo del mismo grupo en el modelo AHP, el 45,5%(5 ítems) bajaron su posición y se clasificaron como tipo B. De los ítems tipo B en el modelo clásico, el 23,8% (5 ítems) mejoraron su posición a tipo A, el 38,1% (8 ítems) continuaron siendo tipo B y el 38,1% (8 ítems) se clasificaron como tipo C. de los ítems tipo C del modelo clásico, el 11,76% (8 ítems) mejoraron su posición pasando a ser tipo B y el resto 89,71% (60 ítems) continuó siendo tipo C.

- ABC clásico y Modelo R*

Comparando el método clásico con el modelo R* se observa que de los ítems considerados como tipo A en el método clásico, el 45,45% (5 ítems) continuaron siendo tipo A en el modelo R*, el 18% (3 ítems) bajaron su posición a tipo B y el

36,36% (4 ítems) pasaron a ser tipo C. Para los ítems considerados tipo B en el modelo clásico, el 4,76% (1 ítem) mejoro su posición y paso a ser del tipo A, el 47,62% (10 ítems) continuaron en el tipo B y el 47,62% (10 ítems) se clasificaron como tipo C. De los ítems considerados como tipo C en el modelo clásico, en el modelo R* el 1,47% (1 ítems) mejoraron su posición a tipo B, el resto 98,73% (67 ítems) continuaron siendo tipo C.

En los resultados de las herramientas de clasificación ABC (Anexo 4), los productos 1, 2, 3 y 7, identificados con código 603, 607, 746 y 84 respectivamente, representan los productos estrella de la organización, ya que ocuparon la categoría A en cada una de las herramientas de clasificación aplicadas, el resto de productos varían de clase en cada herramienta aplicada.

Comparando los resultados de los modelos con el criterio del jefe de la bodega objeto de estudio, su opinión plantea como mejor solución al problema la clasificación obtenida por el método AHP, ya que de acuerdo a su experiencia los productos clasificados como tipo A y B en este método reflejan mejor la realidad percibida, es decir que la mayoría de los productos clasificados entre estos dos grupos son considerados como los más importantes para la empresa y para los que se busca un mejor nivel de servicio.

La opinión del jefe de bodega es muy importante para la solución del problema, sin embargo su percepción no es suficiente para determinar cuál de los modelos presentados genera mejor solución al problema planteado, que es la reducción del tiempo de despacho por orden mediante una ubicación adecuada de su producto terminado. Para alcanzar este objetivo se realizará la asignación para cada uno de los modelos de clasificación realizados, además de una asignación utilizando el índice COI, donde posteriormente se evaluarán recogidas de ordenes con el fin de calcular tiempos de cargue de vehículos y obtener un promedio que permita comparar e identificar cuál de los modelos propuestos mejora el tiempo de despacho de órdenes.

7.3 Necesidades de Expansión de la Bodega Objeto de Estudio

Ya que la capacidad actual de la bodega objeto de estudio es insuficiente, comparado con los requerimientos (Ilustración 10), no se puede asignar un espacio adecuado para cada producto, por lo tanto en este trabajo, se hará una propuesta de expansión, que permita una adecuada disposición del producto.

7.3.1 Análisis de la capacidad actual del centro de distribución

A continuación se presenta datos de la capacidad actual de la bodega objeto de estudio y sus necesidades de extensión superficial, que es cantidad de espacio sobre el suelo que deberá expandirse la bodega actual, para lograr un almacenamiento adecuado de sus productos.

A) Capacidad actual

Actualmente la bodega posee una capacidad máxima de almacenamiento de 2125 estibas, ocupando 656 estibas sobre el suelo, cuando la capacidad requerida, según el período de máxima utilización (Ver anexo 5), obtenido de los registros de inventario de 11 meses (Ilustración 11) es de 2737 estibas que corresponde a 832 puestos sobre el suelo (para las propuestas de expansión se utilizará una capacidad requerida de 867 puestos sobre piso, ya que se decide trabajar con valores aproximados de puestos, para evitar que dos productos diferentes se ubiquen uno sobre otro, generando los que se ha llamado producto obstruido).

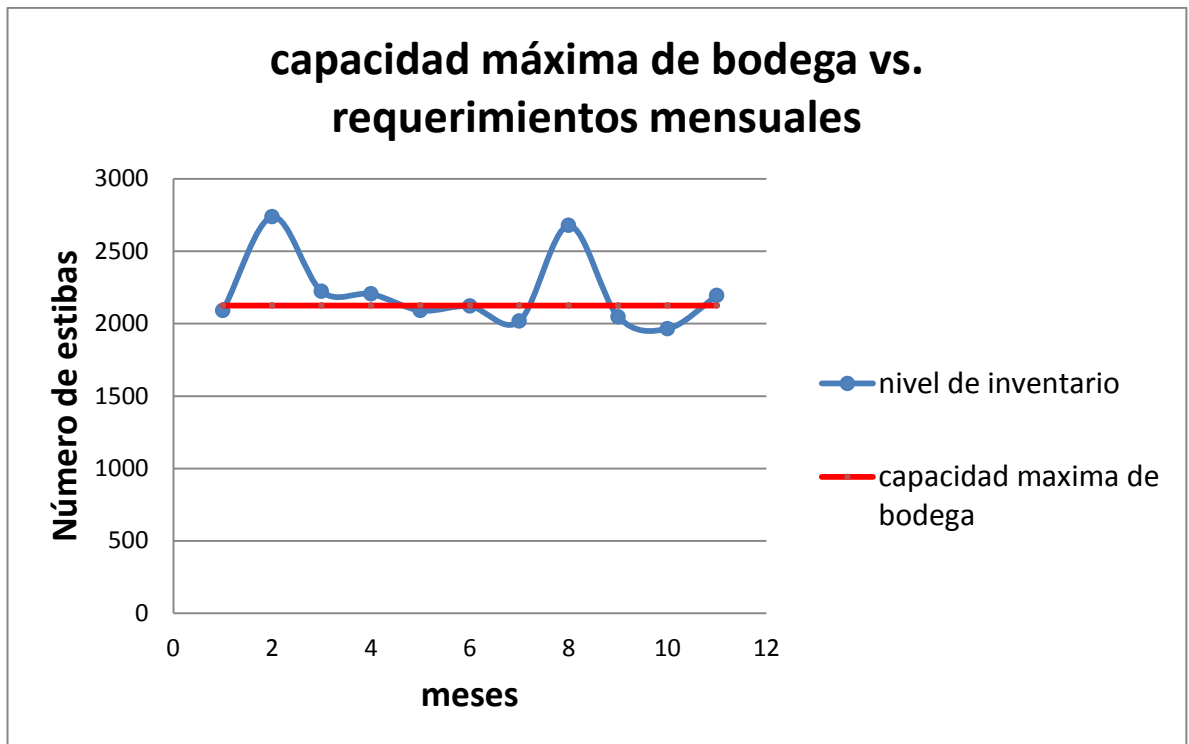


Ilustración 11. Capacidad máxima de bodega Vs. Requerimientos.

[Fuente: Autores]

Según la ilustración 11 los períodos de máxima utilización, se presentan 2 veces al año, en los meses de Marzo y Octubre. En estos 2 períodos la empresa produce para almacenar el producto que se pronostica vender durante los meses de Abril y Noviembre, debido a que las actividades de producción se detienen por motivos de mantenimiento en estos meses.

Según los registros de inventarios, también se observa que la capacidad de la bodega no fue suficiente para albergar el producto durante 5 meses de los 11 analizados (incluyendo los períodos de máxima utilización), obligando a la organización a almacenar el producto en lugares no adecuados, que pueden afectar la inocuidad del producto.

Por las razones mencionadas anteriormente se decide analizar y proponer una adecuada expansión de la bodega objeto de estudio, teniendo en cuenta la maximización de la utilización de espacio. Para esto, se toma como referencia la resolución 2400 de 1979²⁵, en la que se establecen disposiciones de vivienda, seguridad e higiene en los establecimientos de trabajo y las fichas técnicas de los montacargas utilizados, los cuales muestran aspectos importantes para tener en cuenta, al momento de diseñar o reestructurar instalaciones destinadas a establecimientos industriales, en este caso, los factores a tener en cuenta son: calcular la cantidad de espacio requerido para almacenar, determinar los pasillos que requerirá la instalación y sus dimensiones, que permitan un flujo adecuado de material y personal.

En una revisión de la ubicación de los productos en el centro de distribución, en un momento específico, se evidenció que se encuentran de la siguiente manera:

²⁵Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. Resolución 2400. (22, mayo, 1979). Por la cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo. Bogotá, D.E., 1993. p. 1-126.

Distribución actual de productos sobre el suelo en bodega objeto de estudio

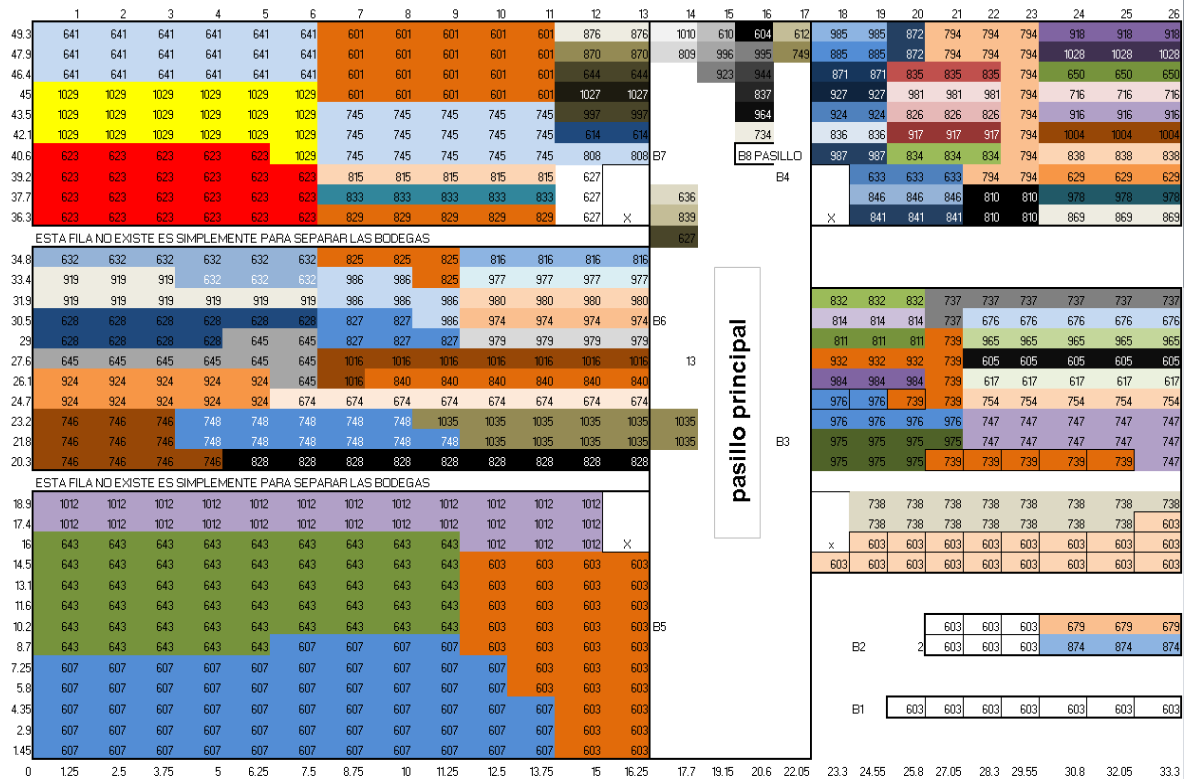


Ilustración 12. Ubicación de productos en distribución actual.

[Fuente: Autores]

En la ilustración 12 se puede observar el centro objeto de estudio, donde muchos de los productos (identificados por su número de referencia), en un momento específico (ya que el sistema de almacenamiento actual es aleatorio, la ubicación de los productos no siempre será la misma), presentan problemas de obstrucción (aproximadamente 61 productos) ya que no pueden ser tomados para despachar sin antes reubicar cantidades considerables de estibas en apilamientos que se encuentran restringiendo su recolección.

En la ilustración 12 también se observa que cuando, lo requerimientos de espacio para almacenar son mayores a la capacidad de la bodega, se ubica producto en el

pasillo y afuera de la bodega en una carpa provisional, que como se mencionó en el planteamiento del problema de este trabajo, no cumple con las condiciones adecuadas de inocuidad, la FSSC 22000 (Sistema de Certificación en Seguridad Alimentaria) que actualmente implementa la organización objeto de estudio, por lo tanto se deberán pensar en medidas adecuadas de almacenamiento.

7.3.2 Espacio requerido para almacenar

La cantidad de espacio superficial requerido para almacenar estará determinado por el número de puestos requeridos en el período de máxima utilización de la bodega, que es de 867 puestos sobre piso (Ver anexo 5), ocupando un área superficial para almacenar de 1571.43 m².

7.3.3 Espacio requerido para pasillos

Para determinar la dimensión adecuada que deberá tener cada pasillo dentro del centro de distribución y garantizar el flujo adecuado del producto y de personal, se tendrá en cuenta lo consultado en la resolución 2400 de 1979, fichas técnicas de los montacargas utilizados.

A. Requerimiento de Pasillo peatonal

Actualmente la bodega objeto de estudio cuenta con un solo pasillo peatonal, que permite el flujo de personal, encargado de las labores logísticas. Para la propuesta de expansión el ancho de este pasillo estará determinado con lo establecido en la

resolución 2400, el cual determina un ancho de pasillo mínimo de 70 cm, y una demarcación con líneas amarillas de 5 cm de ancho.

B. Pasillos para flujo de material

Para el flujo del producto, se tiene un montacargas que transporta 1 estiba por viaje, por lo tanto los requerimientos del tamaño de pasillo deberán determinarse de acuerdo a las necesidades de este flujo y pueden ser consultadas en las fichas técnicas del montacargas (ver anexo 6). En caso de no contar con las especificaciones propuestas por el fabricante del montacargas, existe otra manera para determinar el ancho de pasillo para el flujo de material (que no se aplicará en este documento) y es una propuesta realizada por Tompkins (1996).

Para este trabajo se utilizará el ancho de pasillo propuesto por el fabricante del montacargas utilizado en el centro objeto de estudio, que es de 2,97 m, sin embargo hay que considerar que dentro de la bodega deberá existir un ancho mínimo para que puedan transitar 2 montacargas, ya que las necesidades de almacenamiento y despacho lo requieren, por lo tanto, se considera un tamaño adecuado del ancho de pasillo de 5.94 metros (2×2.97 m). Estos datos se aproximan al ancho del pasillo principal actual que es de 5,8m.

Por medidas de seguridad y evitar accidentes se decide no incluir pasillos peatonales por lugares donde transiten los montacargas, para las actividades logísticas se podrá utilizar el pasillo de 0.7 metros, ubicado en el perímetro interior de la bodega.

7.3.4 Propuestas de expansión del Centro de Distribución

Una vez establecidos los espacios requeridos para almacenamiento y pasillos de flujo peatonal y de personal, se calcularán los requerimientos de extensión superficial de la bodega, mediante la diferencia entre la capacidad requerida de extensión superficial total y la actual.

Para determinar la cantidad y configuración de los pasillos que deberá tener la bodega objeto de estudio, se analizarán 2 propuestas, que según **Natanaree Sooksaksun y Voratas Kachitvichyanukul (2009)**²⁶ para almacenes rectangulares hay dos distribuciones comúnmente utilizadas, en las que los pasillos son paralelos o perpendiculares a la puerta de despacho (Ilustración 11 e Ilustración 12). Debido a las características de la bodega, esta sólo podrá extenderse de manera horizontal, es decir que si ubicamos la bodega en un plano xy, la distancia en y de la bodega deberá ser igual o menor a la actual (52.5 m).

7.3.4.1 Propuesta de distribución 1 (Pasillos paralelos a la puerta de despacho)

En la propuesta 1, el pasillo principal está de forma vertical y posee 2 pasillos largos de manera horizontal (ilustración 13).

²⁶Natanaree, Voratas, Performance Evaluation of Warehouse with One-block Class-based Storage Strategy. En: APIEMS, 2009. p. 1553-1561.

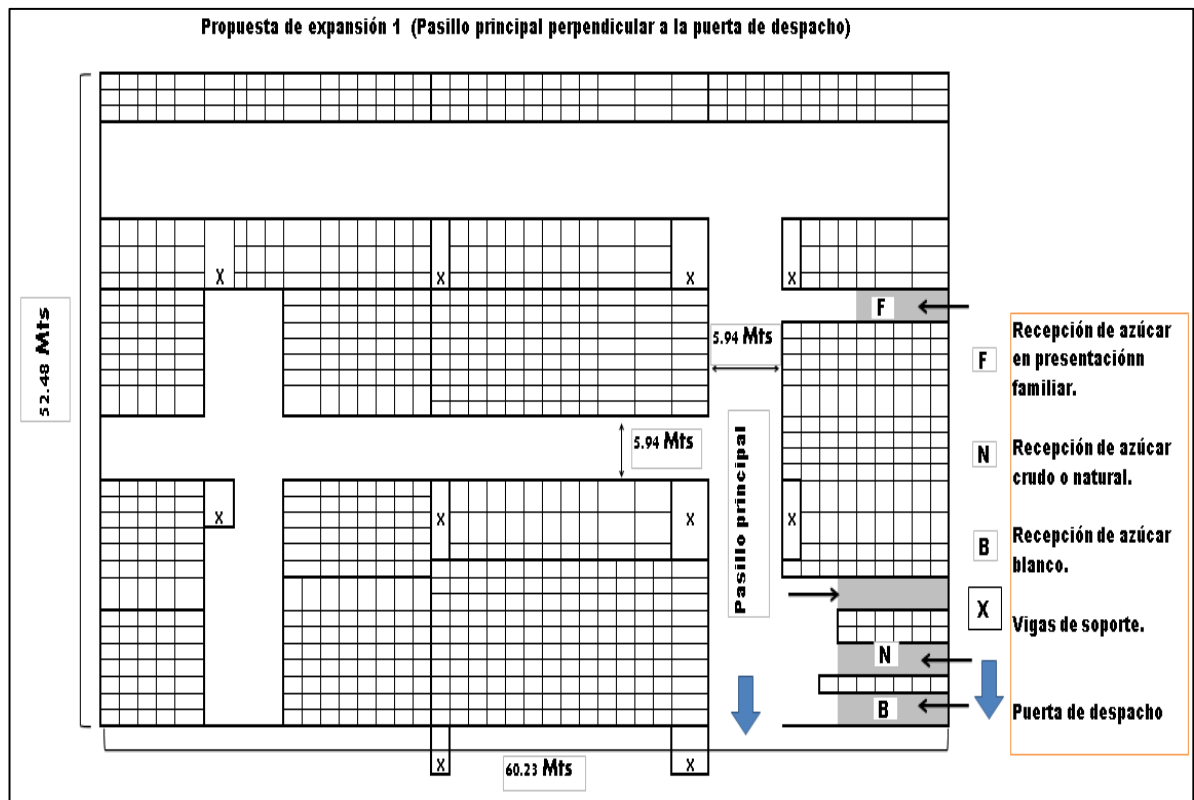


Ilustración 13. Propuesta de distribución 1.

[Fuente: Autores]

Para la propuesta de distribución 1, se calcula un tamaño de bodega requerido de 3160.87 m², el cual comparado con el tamaño de bodega actual (1884.75 m²), genera un incremento del 67.71%, de espacio superficial (tabla 10). Representando una capacidad máxima de 872 puestos sobre el suelo.

Tabla 10. Tamaño de bodega, Propuesta 1

Tamaño Total de bodega Propuesta 1				
Eje x	Cantidad	longitud	Total	
Estibas	36	1.25	45	m
Pasillos	2	5.94	11.88	m
Espacio entre pared y producto	2	0.7	1.4	m
Líneas amarillas	39	0.05	1.95	m
Total eje X			60.23	m
Eje y	Cantidad	Longitud	Total	
Estibas (ancho)	21	1.45	30.45	m
Estibas (largo)	6	1.25	7.5	m
Pasillos	2	5.94	11.88	m
Espacio entre pared y producto	0.7	2	1.4	m
Líneas amarillas	25	0.05	1.25	m
Total eje Y			52.48	m
Tamaño de bodega requerido			3160.87	m ²
Tamaño de bodega			1884.75	m ²
Incremento Porcentual			67.71%	m ²
Capacidad máxima (# puestos sobre piso)			872	puestos

[Fuente: Autores]

7.3.4.2 Propuesta de distribución 2 (Pasillos paralelos a la puerta de despacho)

La Propuesta de distribución 2, plantea el pasillo principal de forma horizontal y 3 pasillos verticales (ilustración 14).

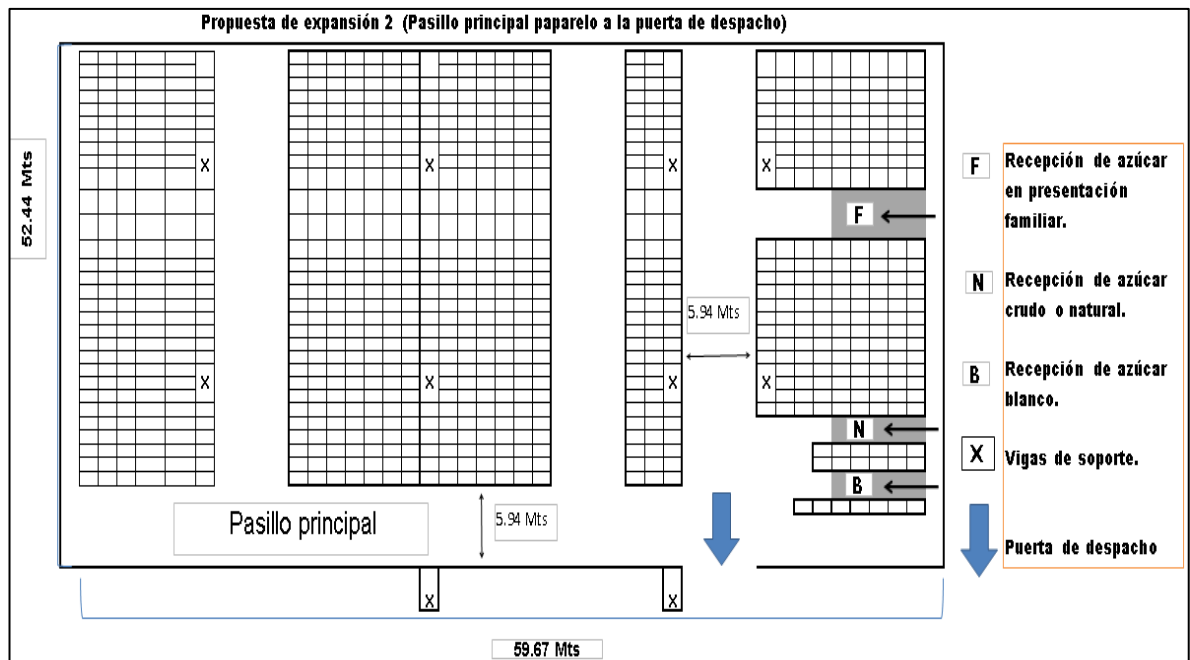


Ilustración 14. Propuesta de distribución 2.

[Fuente: Autores]

Para la propuesta de distribución 2, se calcula un área superficial requerida de 3129.09 m², que comparada con el tamaño de la bodega actual, genera un incremento de 66.02%, de extensión superficial (tabla 11). Representando una capacidad máxima de 880 puestos sobre el suelo.

Tabla 11. Tamaño de bodega, Propuesta 2

Tamaño Total de bodega Propuesta 2				
Eje x	Cantidad	Longitud	Total	
Estibas	32	1.25	40	m
Pasillos	3	5.94	17.82	m
Espacio entre pared y producto	2	0.7	1.4	m
Líneas amarillas	9	0.05	0.45	m
Total eje X			59.67	m
Eje y	Cantidad	Longitud	Total	
Estibas	30	1.45	43.5	m
Pasillos	1	5.94	5.94	m
Espacio entre pared y producto	2	0.7	1.4	m
Líneas amarillas	32	0.05	1.6	m
Total eje Y			52.44	m
Tamaño de bodega requerido			3129.09	m ²
Tamaño de bodega			1884.8	m ²
Incremento Porcentual			66.02%	m ²
Capacidad máxima (# puestos sobre piso)			880	puestos

[Fuente: Autores]

De la comparación entre las 2 propuesta de distribución analizadas, se encuentra que la propuesta 2 requiere menor extensión superficial (3129.0948 m²), sin embargo esta medida comparada con el área requerida en la propuesta 1 (de 3160.87 m²), solo muestra una diferencia del 1%.

Comparando las propuestas de expansión 1 y 2, con el tamaño actual de la bodega objeto de estudio, se observa un incremento de 67.71% y 66.02% respectivamente.

El fin con las propuestas de expansión presentadas es reducir el número de obstruidos a niveles adecuados que permita mejoras en los tiempos de despacho (recolección y cargue del producto). Para estas 2 propuestas de distribución, se propondrá un modelo de ubicación, que posteriormente se evaluará (mediante recogidas de órdenes de pedido), y determinará, cuál de las propuestas genera el menor tiempo acumulado de cargue, mejorando el problema planteado.

7.4 Ubicación de los Productos en las propuestas de Expansión

El problema de mejorar los tiempos de recogida de productos (*picking*), puede ser abordado desde diferentes enfoques como son el ruteo, la selección y adecuación de nuevas tecnologías y equipos automatizados, o desde la ubicación del producto de acuerdo a criterios adecuados al contexto de la situación caso de estudio, antes de seleccionar un método de solución se debe analizar si la situación permite o no aplicar una de las diferentes estrategias de mejora.

En el caso del ruteo, se diseña una ruta de recolección de varios pedidos a través de la zona de almacenamiento, la cual inicia y termina en el punto donde va a ser clasificado el producto o despachado, no se puede implementar en el caso objeto de estudio, ya que se maneja picking de la forma Out-and-Back²⁷, donde el montacargas utilizado para esta labor solo puede transportar 1 estiba a la vez (cada estiba contiene una sola clase de ítem), cargada con 2 toneladas de producto.

En cuanto a la selección e implementación de nuevas tecnologías en una bodega de almacenamiento o centro de distribución requiere de una completa evaluación de costos e inversión.

²⁷ Laura Manotas .Desarrollo de un modelo Heurístico de Almacenamiento para la optimización en el manejo de material en estibas de una bodega, En: ITECKNE, 2011, vol. 8 no. 2. ISSN 1692 - 1798. p. 135

La ubicación del producto al interior del Centro de Distribución, es una manera que no requiere de grandes inversiones económicas, más allá del tiempo invertido por el personal a cargo de desarrollar la propuesta, siendo una alternativa efectiva y ampliamente estudiada.

Para el desarrollo del proyecto se decidió enfocarlo en la estrategia de ubicación, debido a que la estrategia de almacenamiento aleatorio actualmente utilizada genera gran cantidad de productos obstruidos (aproximadamente 61 de los 100 ítems manejados) y daños en otros productos, como se menciona en el planteamiento del problema, debido a las necesidades de reubicación al momento de realizar el proceso de recolección de ordenes (o picking).

Para determinar la ubicación de los productos al interior de las bodegas de expansión (Ilustración 13 e Ilustración 14), se propone un modelo matemático de programación lineal que busca asignar aquellos productos con la más alta ponderación (determinado con las herramientas de clasificación ABC), a las bahías más cercanas (determinadas por la suma de la distancia entre puerta de despacho y punto de entrada del producto a la bahía j), buscando minimizar el tiempo de recorrido de los montacargas en las labores de almacenamiento y despacho, este modelo se comparara con la herramienta COI (cube per order index), ya que es comúnmente utilizada para ubicar productos en zonas de almacenamiento. A continuación se presenta el modelo propuesto y su respectiva nomenclatura:

Índices

i =productos

b = subconjunto de productos que pertenecen al grupo de azúcar en presentaciones de 25 kg o 50 kg blanco.

c = subconjunto de productos que pertenecen al grupo de azúcar en presentaciones de 25 kg o 50 kg crudo o natural.

f= subconjunto de productos que pertenecen al grupo de azúcar en presentaciones familiar siendo blanco o crudo.

j= Bahía de almacenamiento a la que se asignará el producto.

Parámetros

Distancia_j = distancia del punto de despacho i a la bahía de almacenamiento j.

Distancia_b = distancia del punto de entrada bulto blanco b a la bahía de almacenamiento j.

Distancia_n = distancia del punto de entrada bulto natural c a la bahía de almacenamiento j.

Distancia_f = distancia del punto de entrada producto familiar f a la bahía de almacenamiento j.

K_i = importancia del producto i (índice determinado por los métodos de clasificación ABC y COI)

C_j = capacidad de la bahía de almacenamiento j.

X_i = Cantidad de puestos requeridos para almacenar un producto i (Ver anexo 5) (determinado a partir del periodo de máxima demanda en necesidades de almacenamiento, el cálculo se realizó siguiendo lo consultado en Bartholdi y Hackman,2011)

Variable De Decisión

Y_{ij} = Variable de decisión binaria que asigna un producto a una bahía de acuerdo con la función objetivo.

7.4.1 Modelo Matemático Propuesto para Ubicación con índice ABC

Para realizar la asignación de los productos en las dos propuestas utilizando los índices obtenidos de la aplicación de los modelos ABC clásico, R* y AHP, se utilizó el siguiente modelo:

Función Objetivo

Minimizar z=

$$\sum_{b=1}^I Ybj * (distancia_j + distancia_b) * Xi[b] + \sum_{c=1}^I Ycj * (distancia_j + distancia_c) * Xi[c] + \sum_{f=1}^I Yfj * (distancia_j + distancia_f) * Xi[f]$$

Ec. 12

Restricciones del modelo

- **Cercanía al punto de despacho:** esta restricción busca que para los productos haya preferencia en asignarlos más cerca de la puerta de despacho que a la puerta de ingreso del producto a la bodega.

$$\sum_{j=1}^J distancia_j * Ki[i] \leq \sum_{j=1}^J distancia_{f, n, b} * Ki[i] \forall i=1, 2, 3 \dots I; \quad \text{Ec. 13}$$

- **Asignación de los productos i a bahías j:** restricción que limita a un producto a pertenecer a una sola bahía de almacenamiento al interior de la bodega, buscando con esto reducir la obstrucción generada principalmente por productos que manejan gran requerimiento de espacio.

$$\sum_{j=1}^J Y_{ij} \geq 1 \forall i=1, 2, 3, \dots, I;$$

Ec. 14

- **Capacidad de la bahía de almacenamiento:** Busca que los productos asignados a una de las bahías disponibles en las propuestas de distribución no excedan la capacidad máxima de almacenamiento sobre el piso (la capacidad de cada bahía, se encuentra limitada por las vigas de soporte, al interior del almacén objeto de estudio).

$$\sum_{i=1}^I X_i * Y_{ij} \leq C_j \forall j=1, 2, 3, \dots, J;$$

Ec. 15

- Restricciones de no negatividad

Y_{ij} es binaria

Los resultados del modelo de ubicación propuesto para los índices ABC (ABC clásico, R* y AHP), pueden observarse para la propuesta de distribución 1 (Ver anexo 7) y para la propuesta de distribución 2 (Ver anexo 8).

7.4.2 Modelo Matemático Propuesto para Ubicación con Índice COI

Para realizar la asignación de los productos en las dos propuestas de distribución (P1 y P2) con el índice COI, se utilizó el siguiente modelo, el cual varía con respecto al anterior, en que no considera la distancia de las bahías a los puntos de ingreso del producto al almacén, debido a que el COI busca reducir la distancia entre la ubicación del producto y la puerta de despacho:

Función Objetivo

Minimizar $z =$

$$\sum_{b=1}^I Ybj * (distancia_j) * Xi[b] + \sum_{c=1}^I Ycj * (distancia_j) * Xi[c] + \sum_{f=1}^I Yfj * (distancia_j) * Xi[f] \quad \text{Ec. 16}$$

Restricciones del modelo

- **Asignación de los productos i a bahías j :** restricción que limita a un producto a pertenecer a una sola bahía de almacenamiento al interior de la bodega, buscando con esto reducir la obstrucción generada principalmente, por productos que requieren gran cantidad de espacio.

$$\sum_{j=1}^I Yij \geq 1 \forall i=1, 2, 3, \dots, I; \quad \text{Ec. 17}$$

- **Capacidad de la bahía de almacenamiento:** Busca que los productos asignados a una de las bahías disponibles en las propuestas de distribución no excedan la capacidad máxima de almacenamiento sobre el piso (la capacidad de cada bahía, se encuentra limitada por las vigas de soporte, al interior del almacén objeto de estudio).

$$\sum_{i=1}^I X_i * Y_{ij} \leq C_j \forall j=1, 2, 3, \dots, J;$$

Ec. 18

- Restricciones de no negatividad

Y_{ij} es binaria

Los resultados de este modelo para la propuesta de distribución 1 y para la propuesta de distribución 2 (Ver anexo 8).

7.5 Evaluación y Selección de la Mejor Propuesta de Ubicación de Productos.

Para la selección del mejor modelo de ubicación presentado para cada una de las propuestas de distribución (p_1 y p_2), se plantea evaluar el tiempo acumulado de cargue de una muestra aleatoria simple de órdenes de pedido, realizada a 303 órdenes de las que actualmente se tiene registro, se decide aplicar este mecanismo de muestreo simple, ya que aunque los clientes realizan pedidos recurrentes mes a mes, estos no se realizan en cantidades determinadas (es decir que la cantidad de producto pedida por mes, por un cliente varia, dependiendo de las necesidades del cliente), por lo que se rechaza la opción de aplicar un muestreo aleatorio estratificado que selecciona valores aleatorios de acuerdo a la proporción en que participan los clientes usuales en las órdenes.

El cálculo del número de muestra a seleccionar se determinó con la siguiente ecuación presentada por Pedro Morales Vallejo²⁸, utilizada cuando el tamaño de la población es conocido:

$$n = \frac{N \times Z_a^2 \times p \times q}{d^2 \times (N-1) + Z_a^2 \times p \times q}$$

Ec. 19

Donde,

Tamaño del universo N (303 ordenes): es el tamaño de la población o universo.

Nivel de confianza Z (95%): es una constante que depende del nivel de confianza que se desee asignar. El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados de la investigación sean ciertos: un 95 % de confianza es lo mismo que decir que nos podemos equivocar con una probabilidad del 5%. Los valores de Z se obtienen de la tabla de la distribución normal estándar N (0,1).

Los valores de z más utilizados y sus niveles de confianza se pueden observar en la tabla 12.

Tabla 12. Valor de z, según nivel de confianza.

Valor de z	1,15	1,28	1,44	1,65	1,96	2,24	2,58
Nivel de confianza	75%	80%	85%	90%	95%	97,5%	99%

[Fuente: Pedro Morales Vallejo. Tamaño necesario de la Muestra: ¿Cuántos Sujetos necesitamos? 2012].

Margen de error (d) (5%): es el intervalo en el que puede oscilar un resultado. A modo de ejemplo: si para un universo de 200.000 personas y una muestra de 500

²⁸Pedro Morales Vallejo. Tamaño necesario de la Muestra: ¿Cuántos Sujetos necesitamos? (2012). En: <http://www.upcomillas.es/personal/peter/investigacion/Tama%F1oMuestra.pdf>. p.10.

casos el margen de error es de $\pm 4.4\%$, significa que si un resultado es del 50% en realidad está comprendido entre 45.6% y 54.4%.

Heterogeneidad (pq) (50%): en ambos cuadros la heterogeneidad utilizada para los cálculos es del 50%. Esto es el peor caso posible, el que maximiza el margen de error. Significa por ejemplo que un 50% de la muestra opina una cosa y el otro 50% lo contrario. En cualquier otro caso, por ejemplo en una proporción de 80% / 20%, el margen de error disminuye.

Realizando los cálculos correspondientes, se obtuvo que se deban evaluar mínimo 170 órdenes.

Una vez determinada la cantidad mínima de órdenes que se deben evaluar (170 órdenes), estas son seleccionadas de la población (303 órdenes), utilizando una selección aleatoria simple, que es sencilla de calcular, utilizando la función aleatorio de Excel.

El procedimiento para la extracción de las 170 órdenes aleatorias en Excel es:

- 1) Identificar la población analizada y numerarla de 1 a n, donde n= tamaño de la población.
- 2) Utilizar la función = aleatorio.entre(min,max) , donde min= 1 y max =n.
- 3) Arrastrar la celda anterior de manera vertical (la cantidad de aleatorios que se desee generar).
- 4) Seleccionar los aleatorios generados, y copiar en otra hoja de cálculo como valores, para evitar que cambien, por efectos de la función aleatorio.
- 5) como existe la probabilidad de que un dato aparezca varias veces en los valores aleatorios generados, se selecciona los datos copiados y se eliminan los duplicados (en Excel, datos- quitar duplicados).

Con la aplicación de este procedimiento se obtuvieron 170 órdenes aleatorias, que se utilizarán para la evaluación del tiempo acumulado de picking.

7.5.1 Tiempos involucrados en la evaluación

Una vez seleccionada el número de órdenes a evaluar, se identifican todos los tiempos que involucra el sistema seleccionado, estos son:

- Tiempo de recorrido del montacargas a bahía donde se encuentre el producto i a despachar (ida y vuelta)
- Tiempo invertido en subir y bajar las horquillas del montacargas para tomar algún producto de su lugar de almacenamiento
- Tiempo en que se demora el montacargas tomando el producto de su lugar de almacenamiento (tiempo constante de 4 segundos por estiba)
- Tiempo de cargue del producto (es el tiempo que demoran los operarios en subir el producto al camión)

Suposiciones de la evaluación

- El tiempo de recorrido de montacargas desde la puerta de despacho a la bahía i (distancia al Centroides de la bahía en la que se encuentra asignado el producto), está determinado por la velocidad de recorrido del montacargas (será el promedio de cuando se encuentra cargado y cuando está vacío), indicada en la ficha técnica del montacargas (Ver anexo 6).
- El tiempo invertido en subir y bajar las horquillas del montacargas se calcula con la velocidad de estas (Ver anexo 6) y la distancias de elevación para cada nivel de producto (apilamiento vertical de producto).

$$\text{Tiempo vertical} = AP * TS * 2$$

Ec. 20

Donde,

AP= La altura del producto corresponde a los niveles de apilamiento permitidos para cada referencia, estos son 3 o 4 estibas dependiendo de cada referencia.

TS= Tiempo de subida y bajada de horquillas o mástil del montacargas según altura de la estiba o almacenamiento vertical (Ver anexo 10).

- Los productos se encuentran asignados a una bahía específica, sin embargo, su configuración al interior es aleatoria (sistema de almacenamiento basado en clases), para dar flexibilidad al manejo de la bodega, por la dinámica que este representa en su almacenamiento y despacho.
- El tiempo que le toma al montacargas retirar el producto de su lugar de almacenamiento (se considera un tiempo constante de 4seg).
- No se supone obstrucción en el cálculo del tiempo de Picking, ya que, con las propuestas de expansión, este problema se minimiza, y los únicos productos que presentan este problema de obstrucción, son tipo C y en periodos de máxima utilización (podrán administrarse de mejor manera desde el punto de vista operativo), por lo tanto se puede suponer obstrucción 0, para la evaluación de las ordenes.
- La política de ruteo es la actualmente utilizada Out-and-Back, donde solo se recoge una estiba del producto en cada recorrido de recolección.
- Se hace uso de un solo montacargas para la recolección del producto ya que los otros solo están disponibles para las labores de almacenamiento.
- El tiempo que le toma al personal el cargar una estiba al camión es aproximadamente 1.09 min, dato recolectado durante el trabajo de campo.

7.5.2 Evaluación de órdenes – para cálculo acumulado de tiempo de picking

Una vez identificados los tiempos involucrados, se procede con la evaluación de la recogida de las 170 órdenes seleccionadas (Hoja de cálculo – Ordenes simulación Propuesta 1, Ordenes simulación Propuesta 2).

7.5.2.1 Resultados Tiempo acumulado de picking

Una vez evaluadas las 170 órdenes para las dos propuestas (P1 y P2), se obtienen los siguientes resultados (ilustración 15).

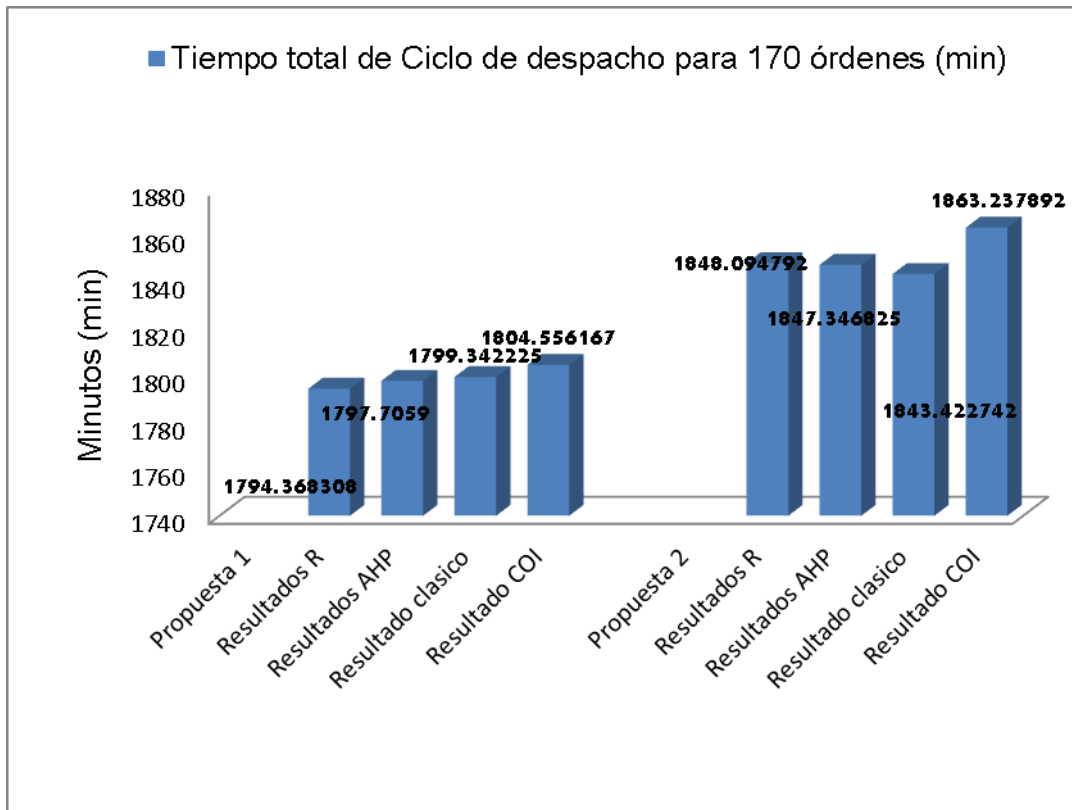


Ilustración 15. Resultados evaluación de 170 órdenes.

[Fuente: Autores]

La ilustración 15 muestra que para las 2 propuestas de expansión analizadas, el modelo de ubicación que genera un menor tiempo total de cargue para las 170 órdenes evaluadas, es el modelo R*, de la propuesta de expansión 1, con un tiempo total de 1794.3 minutos, seguido por el modelo AHP, con 1797.7 minutos, de la misma propuesta.

De la propuesta 1 con el modelo R*, se analizaron las órdenes que contienen una cantidad de 16 estibas a despachar con el fin de efectuar comparaciones entre la propuesta seleccionada como la mejor (sin producto obstruido) y la situación actual (con productos obstruidos), el resultado obtenido es que para despachar una orden de 16 estibas en el modelo R* (seleccionado como la mejor propuesta), el tiempo promedio de cargue es de aproximadamente 22.58 min/camión de 31.5 toneladas (ver anexo 11), con lo cual se observa una mejora del 73.59% con respecto a la situación actual que es de 85.5 min/camión de 31.5 toneladas, es decir que la propuesta genera un ahorro de aproximadamente 61 minutos.

7.5.2.2 Obstruidos

Otra de las situaciones que se analizó con la ubicación de los modelos en las propuestas realizadas, es el problema de los obstruidos en momento de máxima utilización (Ilustración 16).

El cálculo de los obstruidos consta de la ubicación de los productos (resultados del modelo de ubicación propuesto), en los planos de las propuestas de expansión (Ver hojas de cálculo - resultados AMPL, ubicación Clásico, AHP, R y COI, P1 y resultados AMPL, ubicación Clásico, AHP, R y COI, P2), y posteriormente observarla cantidad de referencias de producto que presentan este problema de obstrucción (Ilustración 16).

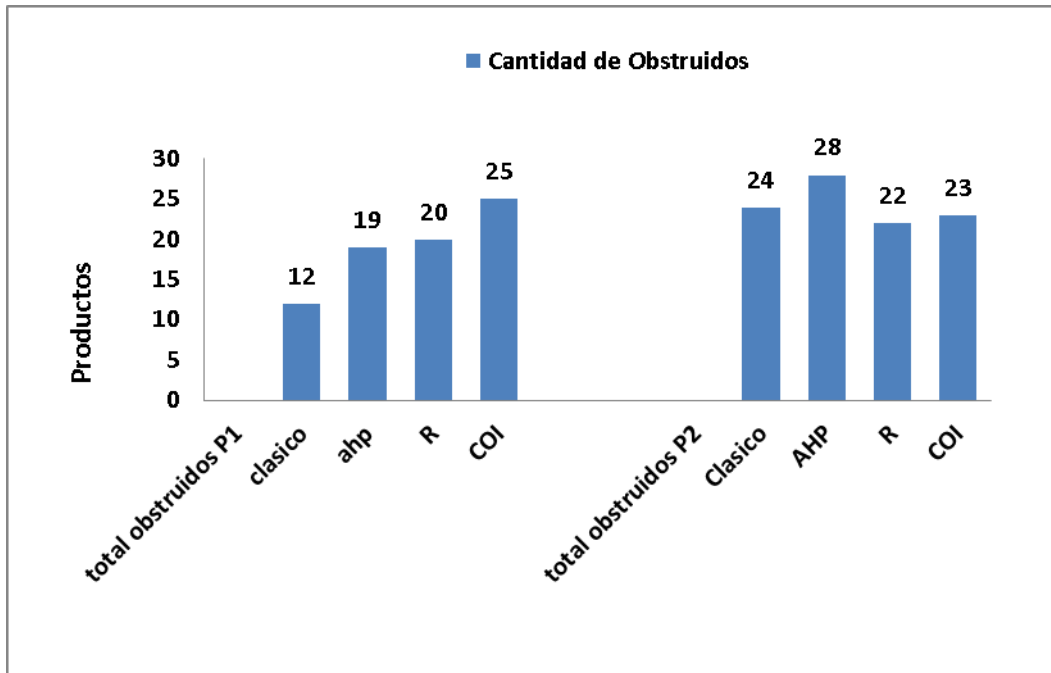


Ilustración 16. Cantidad aproximada de obstruidos por propuesta de ubicación realizada.

[Fuente: Autores]

En la ilustración 16, se observa que de las dos propuestas analizadas, la propuesta 1, genera un menor número de obstruidos comparada con la propuesta 2, es decir que la propuesta 1 presenta una mejor organización del producto.

Dentro de la propuesta 1, se observa que el modelo R* seleccionado como el que genera el menor tiempo total de cargue, para las 170 órdenes evaluadas, tendrá aproximadamente 20 obstruidos (Ver anexo 12), para los periodos de máxima utilización. El criterio de obstruidos no genera tanta relevancia, ya que los productos que presentan este problema, son productos clase C y en periodos de máxima utilización (2 a 3 meses por año), por lo tanto, esta situación se podrá administrar con mayor facilidad desde el punto de vista operativo del jefe de bodega.

8. CONCLUSIÓN

- La propuesta de expansión y el modelo de ubicación de producto, seleccionado como adecuado para el problema planteado (modelo R*, de la propuesta 1), en la bodega objeto de estudio, mejora el tiempo de ciclo actual del proceso de despacho (actividad de picking y cargue) para un camión de 31.5 toneladas de capacidad, en 73.59%, pasando de 85.5 minutos a 22.58 minutos.
- El desarrollo de la caracterización de la bodega objeto de estudio, permitió identificar que la operatividad del centro estaba siendo afectado principalmente por los requerimientos de capacidad de almacenamiento, ya que este supera en un 28.8% a la capacidad máxima actual, generando lo que se nombró como productos obstruidos.
- La implementación de las herramientas ABC, ayudó a establecer jerarquías entre los productos que sirvieron para determinar cuáles de ellos requerían mayor gestión, además de ayudar con las decisiones de ubicación de las existencias al interior de la bodega objeto de estudio.

9. RECOMENDACIONES

La evaluación económica a la propuesta de expansión realizada, es una de las tareas que deberán evaluarse en proyectos futuros, esta deberá incluir aspectos estructurales y de seguridad industrial que atiendan a las necesidades del centro de distribución.

El trabajo presentado, propone una mejora al problema planteado, utilizando las características de almacenamiento actual (almacenamiento en estibas, apiladas sobre el suelo), sin embargo, se recomienda como opción alternativa, evaluar una inversión en nuevas tecnologías, que permitan un proceso más automatizado y eficiente, como por ejemplo la ubicación de productos en estanterías, ya que estas, son herramientas que permiten una operatividad más efectiva y puede transformar el centro de distribución, en un almacén de clase mundial, que permita mejores ventajas frente a los competidores nacionales e internacionales.

Se recomienda evaluar una propuesta conjunta entre espacio actual y espacio rentado para almacenar.

Otra de las recomendaciones que se realizan para proyectos futuros es evaluar las actividades de abastecimiento, transporte del producto y mercadeo, que permitirán una mejor gestión del almacén, generando un mejor flujo de material en la cadena de valor.

10. BIBLIOGRAFÍA

ALONSO JOSÉ ANTONIO, L. M. CONSISTENCY IN THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS: A NEW APPROACH . *International Journal of Uncertainty*, 2006. p. 445-459.

Arriata. Aspectos a considerar para una buena gestión en los almacenes de las empresas(Centros de Distribución, CEDIS), 2010.

Baker, P., & Canessa, M. Warehouse Desing: A structure Approach, 2009.

Berg, J. V., & Zijm, W. Models for Warehouse Management: Classification and examples, 1999.

Bravo, J. J. *Optimización de decisiones empresariales. Principios de descomposición, jerarquización y dualidad*. Universidad del Valle, 2013.

BROWN SUGAR BAGGING AND STORAGE: NEW ADVANCES IN TECHNOLOGY. *Proc S Afr Sug Technol Ass*, 2002. p. 561-573.

CATERPILLAR P6000LP4W.

En:http://www.unimaq.com.pe/IMG/producto/file/Eq_ManipuleoCarga_Montacargas_CAT_P6000.pdf.

Chiang, H., Chia-PingLin, & Mu-ChenChen. THE ADAPTATIVE APPROACH FOR STORAGE ASSIGNMENT BY MINING DATA OF WAREHOUSE MANAGEMENT SYSTEM FOR DISTRIBUTION CENTRES. *Enterprise Information Systems Vol. No 5*, 2010. p. 219-234.

Chuang Yi-Fei, L. H.-T.-C. Item-associated cluster assignment model on storage allocation problems. *Computers and Industrial Engineering* , 2012. p. 1171-1177.

Donald J. Bowersox, D. J. *Administración y logística en la cadena de suministros*. México: McGraw-Hill Interamericana, 2007.

- F. Guerriero, R. M. A mathematical model for the Multi-Levels Product Allocation Problem in a warehouse with compatibility constraints, 2012. p. 1-25.
- Felix, & Chan. Improving the productivity of order picking of a manual-pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage, 2011.
- Florez, B. Management of multicriteria inventory classification. *Mathl Comput Modellin*, 1992. p. 71-82.
- H. Altay Guvenir, E. E. Multicriteria inventory classification using a genetic algorithm. *European Journal of Operational Research*, 1998. p. 9.
- Hackman, S., & Bartholdi, J. WAREHOUSE & DISTRIBUTION SCIENCE, 2011.
- Ho, Y.-C., Wee, H. M., & Chen, H. C. A geometric Design of Zone-Picking in a Distribution Warehouse, 2007.
- Holguín, C. J. *Planeación, Optimización y Administración de Cadenas de Abastecimiento*. Santiago de Cali, COLOMBIA: Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística – Universidad del Valle, 2010.
- Holguín, C. J. PLANEACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE CADENAS DE ABASTECIMIENTO. Santiago de Cali, COLOMBIA, 2010.
- Hsua, C.-M., Chen, k.-Y., & Chen, M.-C. Batching orders in Warehouse by minimizing travel distance with genetic algorithms, 2005.
- Ilies, L., Turdean, A. M., & Crisan, E. WAREHOUSE PERFORMANCE MEASUREMENT- A CASE STUDY. *Annals of Faculty of Economics*, 2009. p. 307-312.
- Jamshidi, H., & Jain, A. Multi-Criteria ABC Inventory Classification:With Exponential Smoothing Weights. *The Journal of Global Business Issues*, 2008. p. 8.

- Jeddou, M. B. An improvement of two multi-criteria inventory classification models. *IOSR Journal of Business and Management*, 2013. p. 7.
- Jianxiang, Goetschalckx, & Leons. Research on Warehouse operation:A comprehensive review, 2007.
- Jinxiang, Goetschalckx, & F., L. Research on Warehouse Design and Performance evaluation:A comprehensive review, 2010.
- Kabir, G., & Hasin, M. A. Multiple criteria inventory classification using fuzzy analytic hierarchy process. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 2012. p. 10.
- Koster, R. d., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. Design and Control on Warehouse Order Picking: A literature review, 2007.
- M, S., F, O., & R., G. Utilización eficiente del espacio físico de un almacén para una comercializadora de muebles, 2008.
- Manotas, L. Desarrollo de un modelo heurístico para la optimización en el manejo de material en estibas en una bodega. *ITECKNE*, 2011. p. 135.
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. Resolución 2400. (22, mayo, 1979). Por la cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo. Bogotá, D.E., 1993. p. 1-126.
- Moellera, K. Increasing Warehouse order picking performance by sequence optimization, 2011.
- MOTOY 7FGU30. En: <http://www.pintulac.com.ec/montacargas/docs/107.pdf>.
- Natanaree, S., & Voratas, K. Performance Evaluation of Warehouse with One-block Class-based Storage Strategy, 2009. p. 9.
- Ng, W. L. A simple classifier for multiple criteria ABC analysis. *European Journal of Operational Research*, 2007. p. 10.

onut, S., Tuzkaya, U. R., & Dogac, B. A particle swarm optimization algorithm for the multiple-level warehouse layout desing problem, 2008.

Products, A. NEW DISTRIBUTION CENTRE AND WAREHOUSE MANAGEMENT SYSTEM DRIVE GROWTH, CUSTOMER SERVICE AND BOTTOM LINE. *MDH-SUPPLY CHAINS SOLUTIONS*, 2011.

Ramanathan, R. ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization. *Computers & Operations Research*, 2006. p. 6.

Rezaeia, J., & Dowlatshahib, S. A rule-bases multi-criteria approach to inventory classification, 2009.

Romero, L. M., & Diaz, D. R. Desarrollo de un modelo heurístico para la optimización en el manejo de material en estibas en una bodega, 2011.

Saaty, T. L. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process . *European Journal of Operational Research*, 1990. p. 9-26.

Tompkins. *Facilities Planning*. Wiley, 1996.

Vallejo, P. M. Tamaño necesario de la muestra: ¿Cuántos sujetos necesitamos?, 2012. p. 2-14.

Vidal Holguín, C. J. *PLANEACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE CADENAS DE ABASTECIMIENTO*. Santiago de Cali: Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística – Universidad del Valle, 2010.

Yanez, C., & Nóbrega, H. P. Diagnostico y propuestas de mejora en las estimaciones de ventas, determinación de nivels de inventario, distribución del almacen y manejo de materiales en una empresa importadora de licores, 2011. p. 49-74.

11. ANEXOS

Anexo 1. Tiempo promedio de cargue de vehículos de 31,5 toneladas, con producto obstruido y sin obstrucción.

Tiempo de Cargue de Vehículos de 31,5 Toneladas con Producto Obstruido y con Producto sin Obstrucción		
DATOS	TIEMPO	UNIDAD
duración de alimentación de estiba a camión	1.09	min
duración picking sin obstrucción	0.96	min
duración picking con obstrucción	4.34	min
tiempo para alimentar una estiba a camión sin obstrucción	2.05	min
tiempo para alimentar una estiba a camión con obstrucción	5.43	min
TIEMPO DE CARGUE DE CAMION de 31,5 toneladas (680 BULTOS)		
Cantidad estibas cargadas en camión con cap. de 31,5 toneladas	16	estibas
tiempo cargue de camión - sin obstrucción	32.29	min
tiempo cargue de camión - con obstrucción	85.50	min
Diferencia	53.21	min
Turno laboral (min)	420	Min
Camiones cargados por turno sin obstrucción	13	camiones
Camiones cargados por turno con obstrucción	5	camiones

Anexo 2. Criterios más utilizados para evaluación de ítems, en centros de almacenamiento.

Matriz de Criterios para la clasificación ABC

Criterios	Unidad de Medida	Entrada		Salida	
		Materias Primas	Repuestos	Fabricante	Comercializadora
Demanda/ Ventas Anual	unidades/año			X	X
Consumo/ Utilización Anual	unidades/año	X	X		
Inventario Promedio	unidades/año	X	X	X	X
Costo Unitario	\$/unidad	X	X	X	X
Volumen	m3/unidad	X	X	X	X
Criticidad	0, 1, 2, 3, 4, 5	X	X		
Costo Anual del Inventario	\$/año	X	X	X	X
Costo Anual Demanda/Ventas	\$/año			X	X
Costo Anual Consumo/Utilización	\$/año	X	X		
Tiempo de Entrega	unidades de tiempo	X	X		X
Tiempo de Producción por lote	unidades de tiempo			X	
Escasez	1, 2, 3, 4, 5	X	X		
Durabilidad	1, 2, 3, 4, 5	X	X	X	X
Sustituibilidad	1, 2, 3, 4, 5	X	X		
Reparabilidad	1, 2, 3, 4, 5		X	X	X
Número de Proveedores	Cantidad	X	X		X
Almacenabilidad	1, 2, 3, 4, 5	X	X	X	X
Tamaño de lote	Unidades	X		X	X

[Fuente: Castro Zuluaga, Carlos Alberto, et al., Clasificación ABC Multicriterio: Tipos de Criterios y Efectos en la Asignación de Pesos. En: ITECKNE. Diciembre 2011, Vol. 8 no 2. ISSN 1692 – 1798. P. 163 - 170.]

Anexo 3. Matriz comparativa de modelos de clasificación ABC.

		MODELO R*	MODELO NG	AHP	SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL	FUZZY LOGIC-RULE BASED
Ventajas	MODELO R*	—	_Al momento de resolver el modelo este toma en cuenta cada uno de los ítems del inventario y los criterios para arrojar el resultado óptimo de cada ítem.	_Al momento de resolver el modelo este toma en cuenta cada uno de los ítems del inventario y los criterios para arrojar el resultado óptimo de cada ítem.	_Presenta una metodología más sólida para la determinación de los pesos para cada criterio. _La importancia de cada criterio se determina para cada ítem en particular, no toma una clasificación general para cada	_Aplicar el modelo tiene una menor complejidad.

					criterio, esto permite determinar que ítems son más importantes según un criterio u otro.	
	MODELO NG	_No requiere tanta cantidad de iteraciones para obtener el peso óptimo de cada uno de los criterios que se están evaluando.	—	_Elimina la subjetividad al definir la importancia de los criterios, haciendo uso de optimización lineal.	_Presenta una metodología más sólida para la determinación de los pesos para cada criterio.	_Aplicar el modelo tiene una menor complejidad.
	AHP	_Menor complejidad en la aplicación del modelo. _Toma en cuenta las consideraciones	_Menor complejidad en la aplicación del modelo _Toma en cuenta las consideraciones	—	_Presenta una metodología más sólida para la determinación de los	_Menor complejidad para aplicar el modelo.

		nes del personal que participa al momento de asignar los pesos a los criterios.	ones del personal que participa al momento de asignar los pesos a los criterios		pesos para cada criterio.	
SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL	_Baja Complejidad en los Cálculos	_Baja Complejidad en los Cálculos	_Baja Complejidad en los Cálculos	_Baja Complejidad en los Cálculos	—	_Baja Complejidad en los Cálculos
FUZZY LOGIC-RULE BASED	_Hace uso de la lingüística para describir las relaciones entre un ítem y los respectivos criterios a evaluar. _Las relaciones SI-ENTONCES para cada ítem y cada	_Hace uso de la lingüística para describir las relaciones entre un ítem y los respectivos criterios a evaluar. _Las relaciones SI-ENTONCES para cada ítem y cada	_Hace uso de la lingüística para describir las relaciones entre un ítem y los respectivos criterios a evaluarlas relaciones SI-ENTONCES para cada ítem y	_Hace uso de la lingüística para describir las relaciones entre un ítem y los respectivos criterios a evaluar. Las relaciones SI-ENTONCES para	—	

		<p>criterio se realizan tomando en cuenta la experiencia de uno o más expertos en el caso de estudio.</p> <p>_Al momento de resolver el modelo este optimiza de manera individual por lo tanto un error en la estimaciones de los datos de entrada solamente afectara al ítem correspondiente.</p> <p>_Puede</p>	<p>criterio se realizan tomando en cuenta la experiencia de uno o más expertos en el caso de estudio.</p>	<p>cada criterio se realizan tomando en cuenta la experiencia de uno o más expertos en el caso de estudio.</p>	<p>cada ítem y cada criterio se realizan tomando en cuenta la experiencia de uno o más expertos en el caso de estudio.</p>	
--	--	--	---	--	--	--

		<p>clasificar los ítems en la cantidad deseada de clases.</p> <p>_Puede representar mejor las situaciones observadas en la realidad.</p>				
--	--	--	--	--	--	--

		MODELO R*	MODELO NG	AHP	SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL	FUZZY LOGIC-RULE BASED
Desventajas	MODELO R*	—	<p>_Requiere que el modelo sea resultado una cantidad igual a N ítems para poder obtener la ponderación óptima de cada uno y</p>	<p>_Las cálculos requeridos son de mayor complejidad.</p> <p>_Requiere conocimientos en lenguajes de</p>	<p>_Los cálculos requeridos son de mayor complejidad.</p> <p>_Requiere conocimientos en lenguajes de</p>	<p>_Al utilizar optimización lineal un cambio en una medida tiene un efecto lineal, cuando en la realidad el efecto</p>

			proceder con la clasificación .	programación o manejo avanzado de Excel con solver para dar solución al modelo.	programación o manejo avanzado de Excel con solver para dar solución al modelo.	que puede tomar puede ser lineal.
	MODELO NG	<p>_Considera independiente cada ítem cuando trata de maximizar la ponderación del mismo.</p> <p>_Requiere definir un orden de importancia entre los criterios a utilizar, esto se hace con base del juicio de los encargados.</p>	—	<p>_Requiere de mayor nivel de conocimiento para llevar a cabo el desarrollo e implementación del modelo.</p>	<p>_Requiere de mayor nivel de conocimiento para llevar a cabo el desarrollo e implementación del modelo.</p>	<p>_Al utilizar optimización lineal un cambio solo presenta un efecto lineal, cuando en la realidad el efecto que puede tomar puede ser lineal.</p>

	AHP	_Ha demostrado ser menos preciso al realizar la clasificación de los ítems.	_La subjetividad a la que se encuentra sujeto el modelo para realizar la asignación de importancia a cada criterio.	—	_Requiere de mayor nivel de conocimiento para llevar a cabo el desarrollo e implementación del modelo.	_Al utilizar optimización lineal un cambio solo presenta un efecto lineal, cuando en la realidad el efecto que puede tomar puede ser lineal.
	SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL	_ Para la determinación del peso o importancia de cada criterio presenta una metodología muy subjetiva.	_ Para la determinación del peso o importancia de cada criterio presenta una metodología muy subjetiva.	_ Para la determinación del peso o importancia de cada criterio presenta una metodología muy subjetiva.	—	_ Para la determinación del peso o importancia de cada criterio presenta una metodología muy subjetiva.

	FUZZY LOGIC-RULE BASED	<p>_Requiere del acompañamiento de uno o más expertos durante el desarrollo e implementación del modelo.</p> <p>_Al hacer uso del Juicio de expertos para definir todas las relaciones la subjetividad del modelo es muy alta, en especial cuando estos no logran ponerse de acuerdo fácilmente.</p> <p>_Requiere definir el</p>	<p>_Mayor nivel de conocimiento para el desarrollo e implementación del modelo.</p> <p>_Al hacer uso del juicio de expertos la subjetividad del modelo es muy alta, en especial cuando estos no logran ponerse de acuerdo fácilmente.</p> <p>_Requiere de Software con Licencia.</p>	<p>_Mayor nivel de conocimiento para el desarrollo e implementación del modelo.</p> <p>_Mayor nivel de conocimiento para el desarrollo e implementación del modelo.</p> <p>_Requiere de Software con Licencia.</p>	<p>_Mayor nivel de conocimiento para el desarrollo e implementación del modelo.</p> <p>_Al hacer uso del juicio de expertos la subjetividad del modelo es muy alta, en especial cuando estos no logran ponerse de acuerdo fácilmente.</p> <p>_Requiere de Software con Licencia.</p>	
--	------------------------	--	--	--	--	--

		conjunto de relaciones SI- ENTONCES para cada uno de los ítems y para cada criterio. _Requiere el uso de software con Licencia.				
--	--	---	--	--	--	--

Anexo 4. Resultados, clasificación de modelos ABC.

Resultados clasificación ABC				
producto	referencia	CLASICO	AHP	R*
1	603	A	A	A
2	607	A	A	A
3	746	A	A	A
4	601	A	B	C
5	643	A	A	B
6	1012	A	A	B
7	984	A	A	A
8	628	A	A	B
9	885	A	B	A
10	614	A	C	C
11	965	A	C	C
12	919	A	B	C
13	828	B	B	C
14	924	B	B	C
15	977	B	A	B
16	754	B	B	C
17	976	B	A	B
18	975	B	B	B
19	745	B	B	C
20	794	B	B	B
21	738	B	A	B
22	1035	B	A	A
23	610	B	C	C
24	674	B	C	C
25	974	B	B	B

26	979	B	B	B
27	739	B	B	B
28	623	C	C	C
29	747	C	B	B
30	645	C	B	B
31	980	C	B	C
32	737	C	C	C
33	825	C	C	C
34	748	C	B	C
35	629	C	C	C
36	810	C	B	C
37	636	C	C	C
38	944	C	C	C
39	833	C	C	C
40	986	C	B	C
41	604	C	C	C
42	1004	C	C	C
43	927	C	C	C
44	827	C	C	C
45	716	C	C	C
46	978	C	B	C
47	832	C	C	C
48	632	C	B	C
49	612	C	C	C
50	981	C	C	C
51	997	C	C	C
52	633	C	C	C
53	923	C	C	C
54	814	C	B	C

55	995	C	C	C
56	1027	C	C	C
57	826	C	C	C
58	996	C	C	C
59	829	C	C	C
60	808	C	C	C
61	838	C	C	C
62	1010	C	C	C
63	811	C	C	C
64	846	C	C	C
65	870	C	C	C
66	644	C	C	C
67	932	C	C	C
68	809	C	C	C
69	839	C	C	C
70	617	C	C	C
71	871	C	C	C
72	837	C	C	C
73	815	C	C	C
74	816	C	C	C
75	650	C	C	C
76	841	C	C	C
77	874	C	C	C
78	1028	C	C	C
79	834	C	C	C
80	869	C	C	C
81	1016	C	C	C
82	676	C	C	C
83	835	C	C	C

84	872	C	C	C
85	840	C	C	C
86	918	C	C	C
87	1029	C	C	C
88	916	C	C	C
89	917	C	C	C
90	836	C	C	C
91	627	C	C	C
92	985	C	C	C
93	987	C	C	C
94	749	C	C	C
95	734	C	C	C
96	679	C	C	C
97	964	C	C	C
98	641	C	C	C
99	605	C	C	C
100	876	C	C	C

Anexo 5. Puestos requeridos, en periodo de máxima utilización de bodega.

Producto	Referencia	Almacenamiento vertical (estibas)	Inv. Max (estibas)	Puestos requeridos.	Puestos requeridos. acumulado
1	603	4	320	80.000	80
2	607	4	271	67.750	68
3	746	3	85	28.333	29
4	601	3	54	18.000	18
5	643	3	206	68.667	69
6	1012	3	121	40.333	41
7	984	3	11	3.667	4
8	628	3	32	10.667	11
:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:
80	869	3	14	4.667	5
81	1016	3	23	7.667	8
82	676	4	18	4.500	5
83	835	3	10	3.333	4
84	872	3	8	2.667	3
85	840	3	31	10.333	11
86	918	3	8	2.667	3
87	1029	4	64	16.000	16
88	916	3	14	4.667	5
89	917	3	11	3.667	4
90	836	3	8	2.667	3
91	627	3	7	2.333	3
92	985	3	10	3.333	4

93	987	3	8	2.667	3
94	749	3	4	1.333	2
95	734	3	4	1.333	2
96	679	4	11	2.750	3
97	964	3	5	1.667	2
98	641	4	46	11.500	12
99	605	4	20	5.000	5
100	876	3	9	3.000	3
Total puestos requeridos				832	867

Anexo 6. Espacio mínimo requerido de pasillo para montacargas, velocidad promedio de montacargas y velocidad de mástil.

DIMENSIONES			P6000		
10	Altura de levante	altura máxima de horquillas c/carga	pulg mm	171 4360	
11	Mástil estándar con mástil de 2 etapas	máxima altura de horquillas	pulg mm	130 3310	
12		levante libre de horquillas	pulg mm	5.9 150	
13	Horquillas	grueso x ancho x largo	pulg mm	1.8x5x42 45x100x1070	
	Espacio ÷ horquillas	apertura de extremo a extremo	pulg mm	9.8 / 39.4 250 / 1000	
14	Inclinación	hacia adelante/ hacia atrás	grados	6/10	
15	Dimensiones totales	largo total hasta el carro	pulg mm	107.0 2720	
16		ancho	con llantas estándar	pulg mm	50.0 1275
			c/llantas duales opción	pulg mm	59.0 1490
17		altura	con mástil abajo	pulg mm	85.5 2170
18			altura del asiento	pulg mm	40.0 1018
19			altura a guarda operador	pulg mm	84.0 2125
20			con mástil levantado	pulg mm	179.0 4540
21	Radio mínimo de giro externo		pulg mm	94.0 2380	
22	Constante del momento de carga		pulg mm	19.3 490	
23	Mínimo pasillo p/estibar a 90° sin espacio p/ maniobras		pulg mm	117.0 2970	
RENDIMIENTO					
40	Velocidades	de viaje cargado / vacío	mph km/h	10.5/11.0 17.0/18.0	
		de levante cargado / vacío	fpm mm/s	99/100 500/520	
		de bajar mástil cargado / vacío	fpm mm/s	98/98 500/500	
43	Capacidad de arrastre	cargado (potencia 60 min.)	lbs N	4150 18,400	
		carga al máximo (potencia 5 min.)	lbs N	4725 21,000	
44	Capacidad de subir pendientes	cargado a 1 mph (1.6 kmh)	%	27.0	
		máxima cargado / vacío	%	30.9 / 17.3	

[Fuente: CATERPILLAR P6000-LP4W. En:

http://www.unimaq.com.pe/IMG/producto/file/Eq_ManipuleoCarga_Montacargas_CAT_P6000.pdf]

Anexo 7. Resultados modelo de ubicación, en propuesta de distribución 1.

PROPUESTA 1																	
Resultados modelo de ubicación –Clásico																	
b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9	b10	b11	b12	b13	b14	b15	b16	b17	b18
984	944	977	95	97	99	98	99	90	99	99	99	90	90	90	1029	987	996
885	628	746	97	96	99	96	99	99	97	98	99	90	99	99	1028	985	981
610		603	91	96	94	95	94	94	96	98	98	99	99	98	1016	964	874
				90	97	94	93	92	94	98	98	99	97	98	917	876	838
							96	96		98	96	98	97	97	841	835	833
										93	97	97	93	93			
										97	97	92			836	749	829
										98		98					
										91		92			834	734	814
										95		97					

Anexo 8. Resultados modelo de ubicación, en propuesta de distribución 2.

PROPUESTA 2									
Resultados modelo de ubicación –Clásico									
b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b7	b8	b8
984	628	603	643	607	601	739	981	604	869
885	944	746	975	614	1012	623	997	612	1016
610		977	923	919	965	747	633	1010	676
				924	828	645	814	846	835
					754	980	1027	644	872
					976	748	826	932	840
					745	629	996	809	918
					794	810	829	839	1029
					738	636	808	617	916
					1035	833	838	871	917
					674	986	811	837	836
					974	1004	870	815	627
					979	827	874	816	985
					737	716		650	987
					825	978		841	749
					927	832		1028	734
					995	632		834	679
								605	964
								876	641
Resultados modelo de ubicación – AHP									
b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b7	b8	b8
984	628	603	1012	607	601	614	997	623	834
885	839	746	924	976	643	965	633	737	1016
995		977	738	975	919	754	814	636	676
			1035	809	828	745	1027	944	872

					794	610	826	833	840
					974	674	829	604	918
					979	980	838	716	836
					739	825	846	832	749
					747	748	870	612	734
					645	629	644	923	679
					1004	810	932	996	964
						986	837	808	641
						927	650	1010	605
						827	1028	811	876
						978	869	617	
						632	835	871	
						981	1029	815	
						627	916	816	
						985	917	841	
						987		874	
Resultados modelo de ubicación - R*									
b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b7	b8	b8
885	984	607	1012	603	601	924	978	614	841
977	975	746	794	976	643	754	632	965	874
		1035	979		628	745	981	610	834
			747		919	623	997	674	1016
			995		828	825	633	737	676
					738	748	814	636	872
					974	629	1027	944	840
					739	810	826	833	918
					645	986	829	604	836
					980	1004	838	716	749
					1029	927	846	832	734

						827	870	612	679
						650	644	923	964
						1028	932	996	605
						869	809	808	876
						835	839	1010	
						916	837	811	
						917	815	617	
						627	987	871	
						985	641	816	

Anexo 9. Resultados modelo de ubicación COI (P1 y P2).

PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN 1									
Resultados modelo de ubicación – COI									
b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9	b10
1010	1027	995	841	1035	980	828	927	1004	981
984	997	979	745	917	977	794	839	996	874
885	924	974		835	976		825	978	871
	716	919		834	975		810	870	832
	614	837		815	923		738	827	829
	612	809			746		674	811	826
	610	603			636			747	
					628			644	
					607			601	
b11	b12	b13	b14	b15	b16	b17	b18		
987	1029	1028	986	965	816	641	985		
944	1016	1012	932	964	748	623	916		
876	840	918	838	833	676		869		
872			808	754	645		739		
846			737	650	617		679		
836			643	627	605				
814			633						
749			629						
734			604						
632									
PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN 2									
Resultados modelo de ubicación – COI									
b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b7	b8	b8
984	977	601	1012	746	603	643	650	623	

885	976	919	1035	628	607	965	841	645	
1010	923	794	739	614	747	754	874	748	
		738	869	828	737	745	1028	617	
		674	916	924	986	629	834	816	
		974		975	604	944	835	1016	
		979		610	827	833	872	676	
		825		980	978	832	917	840	
		810		636	633	632	836	918	
		1004		716	808	981	627	1029	
		927		612	838	814	985	679	
		996		997	811	826	987	641	
		837		995	870	829	749	605	
				1027	644	846	734		
				809	932	871	964		
				839		815	876		

Anexo 10. Tiempo vertical para la toma de estibas (continuación).

Información del tiempo de elevación de las Horquillas							
Velocidad de Elevación(m/seg)			0.5				
altura estiba cargada(m)			1 nivel	2 nivel	3 nivel	4 nivel	
1.3			0	1.3	2.6	3.9	
Tiempo en subida y bajada de Horquillas de montacargas							
Almacenamiento Vertical (4 estibas)				Almacenamiento Vertical (3 estibas)			
Cantida d de estibas en la orden	Altura de Apilamien to (Estibas)	Tiempo de acuerdo a la posición de apilamien to (segundo s)	Tiempo acumulad o (segundo s)	Cantida d de estibas en la orden	Altura de Apilamien to (Estibas)	Tiempo de acuerdo a la posición de apilamien to (segundo s)	Tiempo acumulad o (segundo s)
0	0	0	0	0	0	0	0
1	4	7.8	7.8	1	3	5.6	5.6
2	3	5.6	13.4	2	2	2.6	8.2
3	2	2.6	16	3	1	0	8.2
4	1	0	16	4	3	5.6	13.8
5	4	7.8	23.8	5	2	2.6	16.4
6	3	5.6	29.4	6	1	0	16.4
7	2	2.6	32	7	3	5.6	22
8	1	0	32	8	2	2.6	24.6
9	4	7.8	39.8	9	1	0	24.6
10	3	5.6	45.4	10	3	5.6	30.2

11	2	2.6	48	11	2	2.6	32.8
12	1	0	48	12	1	0	32.8
13	4	2.6	50.6	13	3	5.6	38.4
14	3	5.2	55.8	14	2	2.6	41
15	2	7.8	63.6	15	1	0	41
16	1	0	63.6	16	3	5.6	46.6

Anexo 11. Tiempo promedio para el despacho de órdenes de 1 estibas.

DETALLE	
Tiempo total(min)	1794.36831
Tiempo en ordenes de 16 estibas(min)	474.316867
Cantidad de ordenes de 16 estibas(unidades)	21
Tiempo promedio(min)	22.5865175

Anexo 12. Obstruidos de la propuesta de ubicación seleccionada (Modelo R*).

Items clase A										Items clase B										Items clase C																
605	605	604	604	808	834	836	841	872	874	874	876	918	924	627	644	835	838	916	917	917	932	985	987	1028	1028	1029	1029	1029	1029	980	980	980	980	810	810	810
617	617	617	737	737	832	832	832	840	840	840	923	965	965	965	X	745	745	745	745	748	748	748	748	997	1028	1028	1029	1029	1029	980	980	980	980	810	810	
617	617	716	737	737	X	832	832	840	840	840	965	965	965	965	X	745	745	745	745	748	748	748	748	997	1028	1028	1029	1029	1029	980	980	980	980	810	810	
617	617	716	737	737		832	832	840	840	840	965	965	965	965		745	745	745	745	748	748	748	748	924	924	1028	1028	1029	1029	980	980	980	980	810	810	
1016	1016	1016	1016	1016		870	827	827	827	1004	1004	1004	1004	643	643	643	643	643	643	643	643	747	747	747	979	979	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	810	810
1016	1016	1016	996	996		846	846	846	846	870	870	870	870	643	643	643	643	643	643	643	643	747	747	747	979	979	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	810	810
833	833	833	833	833		829	829	829	837	837	846	846	846	643	643	643	643	643	643	643	643	747	747	747	979	979	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	810	810
816	816	816	816	811	4	826	826	826	826	829	829	829	829	643	643	643	643	643	643	643	643	747	747	747	979	979	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	810	810
811	811	679	679	679		754	754	754	754	826	826	826	826	643	643	643	643	643	643	643	643	747	747	747	979	979	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	810	810
676	676	676	676	676	B13	633	633	633	633	633	633	633	633	643	643	643	643	643	643	643	643	747	747	747	979	979	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	810	810
636	636	636	636	636		633	633	633	633	633	633	633	633	643	643	643	643	643	643	643	643	747	747	747	979	979	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	810	810
871	871	871	871	1010		739	739	739	739	739	739	739	739	809	794	794	794	794	794	794	794	974	974	974	974	974	607	607	607	607	607	607	607	607	607	607
869	869	869	869	869	X	739	739	739	739	739	739	739	739	X	794	794	794	794	794	794	794	974	974	974	974	974	607	607	607	607	607	607	607	607	607	607
825	825	825	825	825		919	919	919	919	919	919	919	919	794	794	794	794	794	794	794	794	974	974	974	974	974	607	607	607	607	607	607	607	607	607	607
825	825	674	674	674		919	919	919	919	919	919	919	919	794	794	794	794	794	794	794	794	974	974	974	974	974	607	607	607	607	607	607	607	607	607	607
674	674	674	641	641	B11	828	828	828	828	828	828	828	828	976	976	976	976	976	976	976	976	974	974	974	974	974	607	607	607	607	607	607	607	607	607	607
641	641	641	641	641		828	828	828	828	828	828	828	828	976	976	976	976	976	976	976	976	974	974	974	974	974	607	607	607	607	607	607	607	607	607	607
641	641	641	641	641		645	645	645	645	645	645	645	645	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603
986	986	986	1027	1027		601	645	645	645	645	645	645	645	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603
986	981	981	981	981		601	601	601	601	601	601	601	601	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603
978	978	978	978	978	1	623	623	623	623	623	623	623	623	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603
978	978	827	827	827		623	623	623	623	623	623	623	623	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603
827	827	827	814	814	B10	623	623	623	623	623	623	623	623	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603
814	814	632	632	632		601	623	623	623	623	623	623	623	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603
632	632	632	632	632		601	601	601	601	601	601	601	601	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	603	603	603	603	603	603	603	603	603	603
1.25	2.50	3.75	5.00	6.25	12.19	13.44	14.69	15.94	17.19	18.44	19.69	20.94	22.19	X	24.69	25.94	27.19	28.44	29.69	30.94	32.19	33.44	34.69	35.94	37.19	38.44	X	X	X	X	X	X	X	X		