

Diseño de un Sistema de Almacenamiento por Posiciones Fijas para la Distribución de un Cuarto Frío en una Empresa Embutidora

Jairo Coronado-Hernández¹, German Herrera-Vidal², Fernando Olier-Herrera³, Carlos Porto-Berrio⁴

¹PhD en Ingeniería Industrial, Universidad de la Costa. Colombia. jcoronad18@cuc.edu.co

²PhD(c) Ingeniería Mención en Industrial. Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco. Grupo Ciptec. Colombia. herrervg@tecnocomfenalco.edu.co

³Ingeniero Industrial. Universidad Tecnológica de Bolívar. Colombia

Resumen – En las operaciones de cualquier empresa el almacenamiento se hace importante, debido a que genera beneficios de tipo logístico y económico, sin embargo intrínsecamente se deben considerar aspectos eficientes relacionados con el buen uso del espacio, los métodos de preparación de pedidos y el manejo de materiales en general. En la presente investigación se propondrá una metodología basada en técnicas de optimización, que permita minimizar los flujos de productos y optimizar la distribución física basada en el nivel de rotación. Se tomó como caso de estudio una unidad de almacenamiento frigorífica en una empresa de embutidos. Los resultados evidencian un aprovechamiento del área y volumen en el espacio disponible, siendo una propuesta en la cadena logística relevante para la toma de decisiones.

Palabras claves: Logística, Almacenamiento, Posición fija, Optimización

Abstract – In the operations of any type of company the storage becomes important, because it generates benefits of logistic and economic type, nevertheless intrinsically they must consider efficient aspects related to the good use of the space, the methods of preparation of orders and the handling of materials in general. This research will propose a methodology based on optimization techniques to minimize product flows and optimize physical distribution based on the level of rotation. A cold storage unit in a sausage company was taken as a case study. The results show a use of the area and volume in the available space, being a proposal in the logistics chain relevant for decision making.

Keywords: Logistic, Storage, Fixed position, Optimization

I. INTRODUCCIÓN

El almacenamiento hace referencia a los lugares donde se guardan los diferentes tipos de mercancías, bajo unas políticas o disciplina establecida, permitiendo tener un control físico de los artículos inventariados y una provisión oportuna a los procesos que se encuentren articulados. De

Digital Object Identifier: (to be inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

acuerdo con [1], es un aspecto importante en la actividad económica de cualquier negocio. Por lo que permiten ajustar la oferta a la demanda del cliente y lograr economías de escala en el transporte.

Según [2] al diseñar un sistema de almacenamiento, construir el modelo y sistema de gestión, estos deben ir de la mano y desarrollarse de manera coordinada. Dado que intervienen diversos procesos como la recepción, almacenamiento y movimientos en un mismo espacio, asociados con los materiales, materias primas y productos producidos [3].

Los principales problemas a los que se enfrenta un diseñador de almacén son: (i) seleccionar el mejor método de almacenamiento, (ii) elegir el equipo de manipulación adecuado y (iii) determinar la configuración física del almacén. Dependiendo a su vez de diferentes factores asociados con los costos de los diversos recursos que intervienen [1]. A partir de esto, la presente investigación propone una metodología basada en técnicas de optimización, que permite minimizar los flujos de productos y optimizar la distribución física basada en el nivel de rotación. Para el desarrollo de esto se tomó una unidad de almacenamiento frigorífica de una mediana empresa de embutidos, ubicada en la ciudad de Cartagena – Colombia, en la actualidad esta empresa se encuentra en una etapa de crecimiento motivada por un aumento en las ventas; situación que exige entre otras cosas, un sistema logístico que le permita ser más competitiva en el sector de las carnes frías. Dentro de este sistema logístico se toman decisiones estratégicas referentes al almacenamiento temporal del producto y el flujo de los mismos, a través de instalaciones eficientes.

La empresa caso de estudio dispone de 2 cuartos fríos para el almacenamiento de materias primas, productos en proceso y productos terminados; construidos inicialmente bajo criterios netamente funcionales, que ignoraban las consideraciones anteriormente descritas, llegando al punto de restringir la producción, y evidenciando la necesidad de adquirir una infraestructura ajustada a sus exigencias. La inexistencia de un sistema de almacenaje adecuado a las

características particulares de la misma, tales como: dimensiones de las unidades de almacenamiento; sistema de manejo de materiales disponibles y sistema de gestión de inventario, han ocasionado: (i) La subutilización de la capacidad de almacenamiento (área y volumen), (ii) La ineficiencia del proceso de mantenimiento, (iii) La dificultad para llevar a cabo la recolección de pedidos (picking), (iv) La dificultad para llevar a cabo una gestión de inventarios efectiva, y (v) El deterioro e inestabilidad de los productos almacenados. Todo lo descrito anteriormente evidencia un escenario habilitador para poder diseñar un sistema de almacenamiento por posiciones fijas para la distribución de un cuarto Frío en la empresa caso de estudio.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

A. *Sistemas de Almacenamiento*

Un sistema de almacenamiento convencional consiste en estanterías y pasillos. Los pasillos se utilizan para el transporte de mercancías desde y hacia los estantes de almacenamiento. Ocupan un espacio que puede ser utilizado de forma eficiente para el almacenamiento de cargas. Si el espacio no se utiliza de manera eficiente, es posible que haya que recorrer distancias mayores para transportar cargas, lo que requiere más recursos. De acuerdo con [4-6], los viajes sin valor añadido constituyen la mayor parte del tiempo de un preparador de pedidos en estos sistemas de almacenamiento convencionales. En los años 60, se introdujeron los sistemas de almacenamiento/recuperación automatizados (S/R). Estos sistemas pueden almacenar un gran número de cargas unitarias en un espacio limitado. Estos sistemas han recibido mucha atención por parte de los investigadores, centrándose, por ejemplo, en modelos de tiempo de viaje y optimización del tamaño del sistema [7-8].

Los factores más importantes que influyen en la competitividad de los almacenes son el tiempo y el dinero [9-11]. Si el proceso de almacenamiento se elige al azar o es inadecuado, afecta a tres tipos de costos relacionados con el movimiento, el tiempo de espera y el transporte. Esto ocurre, por ejemplo, cuando los productos de alta demanda se almacenan en la parte más distante del almacén y los que rara vez tienen necesidades se encuentran a la distancia más cercana a la zona de finalización y embalaje [12-14]. Así, el tiempo, la distancia y los costos internos de movimiento de stock se vuelven más elevados. También aumenta el número de empleados y de dispositivos para el movimiento de mercancías [15].

De acuerdo con [16], los almacenes desempeñan un papel fundamental en la adecuación de la demanda de productos con la oferta en los diferentes niveles de la cadena de suministro. Siempre que se necesite diseñar y gestionar una cadena de suministros es necesario tener en cuenta la ubicación, diseño y gestión de las tiendas. Hoy en día, los almacenes funcionan no sólo como centros de almacenamiento, sino también como centros de valor

añadido. Varios almacenes tienen operaciones de montaje, embalaje y reparación dentro de sus instalaciones. Los modelos de decisión de almacén son cruciales para la rentabilidad de una organización. Los estudios existentes muestran que la comprensión de los principios de diseño y gestión de almacenes puede desempeñar un papel fundamental en la mejora de la eficiencia de las operaciones, la reducción de la fatiga y la rotación de los empleados, y la mejora de los niveles de servicio al cliente. Los nuevos sistemas de automatización de almacenes pueden ayudar a aumentar la flexibilidad operativa y satisfacer las crecientes expectativas de los clientes.

El almacén como elemento de la cadena de suministro es una parte importante de la actividad en la distribución y producción de bienes y materias primas. El continuo desarrollo de las tendencias y la creciente presión resultante de estos numerosos cambios han alterado inevitablemente la estructura de la cadena de suministro y la localización y funcionamiento de los almacenes. Como resultado, esto ha forzado la introducción de estrategias de optimización de existencias que también incorporan el tiempo de finalización de pedidos, la minimización de costos y el aumento del nivel de servicio prestado a los clientes [17].

Los análisis realizados muestran que el movimiento de mercancías constituye la mitad del tiempo total de ejecución del pedido [18-19]. Su duración final depende, entre otras cosas, del nivel de automatización del almacén, del sistema de almacenamiento aplicado y de la forma de completar los pedidos. Si una empresa determinada desea seguir siendo competitiva, se debe analizar cada proceso que tiene lugar en el almacén y, en primer lugar, se debe reducir el tiempo dedicado al movimiento de stock [20]. La optimización de los procesos de transporte en el almacén permite reducir naturalmente el tiempo de finalización, y por tanto el camino entre los productos más importantes. Por esta razón, el diseño adecuado de la disposición del almacén y de las estrategias de distribución de productos constituye un serio desafío para las empresas [21].

B. *Optimización de los Sistemas de Almacenamiento*

Una revisión de la literatura evidencia diferentes tipos de soluciones al problema de diseño de sistemas de almacenamiento mediante técnicas de optimización. En la década de los años sesenta se encuentra el trabajo desarrollado por [22] el cual representa uno de los primeros trabajos dirigidos a resolver el problema de diseño de almacén basado en el criterio de minimización del tiempo de manipulación, en este trabajo se desarrolla un modelo matemático que considera los costes de movimiento de los artículos dentro del almacén y los costos de perímetro.

Consecuente a esto [23] presentó un procedimiento de búsqueda para encontrar una solución global óptima para una formulación específica del problema de diseño de almacén. En esta formulación se consideran tres tipos de

costos asociados con la inversión inicial (instalaciones de construcción y manejo), un costo de escasez (cuando no hay lugar para almacenar una paleta) y costos ligados con la política de almacenamiento. Se desarrolla un procedimiento de búsqueda para encontrar el diseño de almacenamiento óptimo, utilizando tanto técnicas de optimización analítica como de simulación. De igual forma [24] consideraron también los otros tipos de costos en su modelo de optimización fundamentado en los costos de mantenimiento de inventario, costos de instalación y stock de seguridad. Cabe denotar que anteriormente, de acuerdo con [25] los primeros tamaños de inventario o lotes de producción se determinan teniendo en cuenta sólo los costos de preparación o de pedido, los costos de almacenamiento de inventario y los costos de agotamiento de existencias. El resultado de su modelo propuesto proporciona los requisitos de espacio para las decisiones de almacenamiento de inventario. En su investigación el objetivo era minimizar los costos totales de preparación, transporte de inventario y manejo de materiales de almacén.

Contemporáneamente [26] presentó varios modelos analíticos para determinar el diseño de espacio mínimo para el apilado de bloques, estantes de paletas de una y dos profundidades, almacenamiento de carriles profundos y sistemas de almacenamiento y recuperación automatizados de carga unitaria (AS/RS). En sus modelos no se tienen en cuenta las limitaciones de la capacidad de manipulación de los equipos y de las obras. La selección de una alternativa de almacenamiento se basó en los costos anuales de espacio de piso y manejo. De manera similar, [27] presentó un modelo de optimización para determinar la configuración de un almacén ignorando las limitaciones de la capacidad de manipulación de los equipos. Utilizó programación dinámica como metodología de solución y realizó un análisis de sensibilidad de los distintos parámetros del modelo, encontrando mejores soluciones al problema. Del mismo modo [28] trabajaron un modelo de programación dinámica y programación entera para determinar el tamaño óptimo de los bloques de almacenamiento y los problemas de distribución.

En otro tipo de problemas se destacan los de tipo no lineal, donde [29] desarrollan una formulación no lineal de programación de números enteros perdidos de un sistema de almacenamiento y recuperación automatizado. Su modelo de costos incluye bastidores de almacenamiento, edificio de almacenamiento, máquinas de manipulación y terrenos. Por primera vez, este trabajo consideró la limitación de la capacidad de manipulación de las máquinas de almacenamiento y recuperación, pero no se incluye ninguna restricción de emplazamiento. Aunque su modelo es bastante engorroso para el análisis de sensibilidad, es una de las mejores representaciones de la realidad.

En síntesis es evidente que desde la década de los años sesenta se han venido investigando sobre modelos de

optimización focalizados a sistemas de almacenamiento, cuyos objetivos van dirigidos a buscar la minimización de los costos de construcción del almacén, costos de manipulación de materiales, costos de escasez, costos por políticas de almacenamiento entre otros.

C. Asignación de Ubicación en Almacenes

De acuerdo con [30], el problema de asignación de ubicación de almacenamiento (SLAP) consiste en asignar los productos entrantes a las ubicaciones de los departamentos/zonas de almacenamiento para reducir los costos de manipulación de materiales y mejorar la utilización del espacio. Diferentes departamentos de almacén pueden utilizar diferentes políticas SLAP dependiendo de los perfiles de SKU específicos del departamento y de la tecnología de almacenamiento. El problema de asignación de almacén se necesita de diferentes tipos de informaciones como (i) Información sobre el área de almacenamiento, incluida su configuración física y la disposición del almacenamiento, (ii) Información sobre los lugares de almacenamiento, incluida su disponibilidad, dimensiones físicas y ubicación, y (iii) Información sobre el conjunto de artículos que se almacenarán, incluidas sus dimensiones físicas, la demanda, la cantidad y los horarios de llegada y salida.

Cabe resaltar que desde unos inicios según [31] se presentan tres políticas de asignación de ubicación de almacenamiento: (i) La política de almacenamiento basada en clases distribuye los productos, según sus tasas de demanda, entre varias clases y reserva una región dentro del área de almacenamiento para cada clase. (ii) La política de almacenamiento aleatorio, en el cual una carga entrante se almacena en una ubicación abierta arbitraria dentro de su clase, y (iii) La política de almacenamiento dedicado en el cual se intentan reducir los tiempos medios de viaje para el almacenamiento de productos de alta demanda en ubicaciones de fácil acceso.

III. METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló en torno a las condiciones actuales de la empresa, y en su mayor medida a los cambios que se vienen produciendo con el aumento de la demanda [32]. Inicialmente se determinó la población correspondiente a todas aquellas entidades afectadas directa o indirectamente por la problemática, así como también todos los factores que influyen. Entre estos se encuentran (i) Productos manejados por la empresa, sus características, dimensiones, niveles de inventario y demanda histórica, entre otros. (ii) Infraestructura física disponible para el almacenaje, dimensiones, características y restricciones.

Para el cumplimiento del objetivo propuesto en la investigación fue necesario elaborar una propuesta metodológica (Ver figura 1).

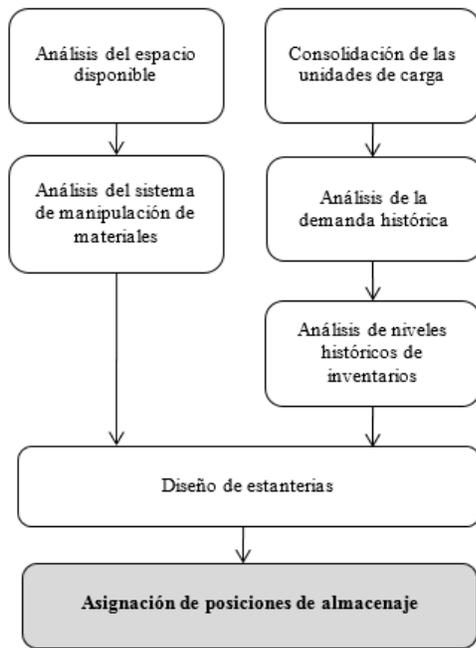


Fig. 1. Metodología propuesta

Esta contempla siete (7) fases las cuales se describen a continuación: (i) **Análisis de espacio disponible**. En esta fase se deben considerar con especial cuidado las dimensiones del cuarto frío 1, ya que constituyen el espacio disponible para la instalación de los sistemas de estanterías que se pretenden usar. También debe prestarse atención a otras características claves que de una u otra forma afectaran el desempeño y la pertinencia del sistema de estanterías que se vaya a proponer, como son: las dimensiones del aire, la posición que ocupa dentro el cuarto frío, la humedad que se maneja en el interior del cuarto frío, la temperatura normal de operación del cuarto frío, las dimensiones de la puerta de acceso/salida del mismo, el material de las paredes internas y el piso, entre otros. (ii) **Análisis de sistemas de manejo de materiales**. Los datos recolectados en esta fase corresponden a las características de los sistemas de manejo de materiales con que cuenta la empresa. A partir de estos se realizó un análisis de la pertinencia o funcionalidad de los mismos, con el fin de determinar si es conveniente seguir trabajando con estos, o si por el contrario se pueden proponer otros que representen un mejor desempeño dadas las características del sistema de almacenaje que se pretende diseñar. (iii) **Consolidación de unidades de carga**. Los datos recogidos en esta fase fueron clave para el desarrollo de la investigación, puesto que recogen las dimensiones físicas de los productos manejados en el cuarto frío 1, y permitieron la creación de unidades de carga estándar que se pretenden manejar en el sistema de estanterías propuesto, a partir de la evaluación de distintas posibilidades de asociación de productos. (iv) y (v) **Análisis de demanda y**

niveles de inventario histórico. La adecuación del sistema de almacenaje propuesto, a los niveles de inventario que normalmente se tienen y a las fluctuaciones de demanda que se están manejando debe ser la ideal, de aquí que sea necesario realizar todo este análisis. De la calidad de este análisis depende la funcionalidad y flexibilidad de la capacidad del sistema de estanterías que se pretende diseñar, si no se tienen los datos apropiados, no se justificara la realización de la investigación. (vii) **Diseño de estanterías**. En esta fase, se utilizaron además de los datos procesados en fases anteriores, consultas bibliográficas referentes a sistemas de estanterías apropiados a las características de los productos manejados en la empresa, y sus condiciones, con el fin de seleccionar el más acorde y el que mejor desempeño pudiera brindar. (viii) **Asignación de posiciones de almacenaje**. Finalmente, en esta fase, se acoplaron todos los datos recogidos y propuestas hechas en fases anteriores, para la asignación de las posiciones de almacenaje establecidas, atendiendo a los siguientes aspectos, minimización en los flujos de productos y la distribución óptima, de tal forma que los que más rotación tienen, se ubiquen más cerca de la puerta. Para cumplir con este propósito el grupo investigador se valió del siguiente modelo matemático:

$$Z_{\min} = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{m_d} c_{jk} x_{jk} \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{k=1}^{m_d} x_{jk} = m_j, \quad j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jk} \leq 1, \quad k = 1, \dots, m_d \quad (3)$$

$$x_{jk} \in \{0, 1\}, \quad j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, m_d \quad (4)$$

Donde:

$$c_{jk} = \sum_{r=1}^R \left[\frac{p_{jr}}{m_j} \right] * t_{rk} \quad (5)$$

p_{jr} = Número de manipulaciones del producto j a través de la puerta r.

m_j = Número de posiciones de almacenaje para el producto j.

t_{rk} = Tiempo promedio empleado para ir de la puerta a r a la posición de almacenaje k.

n = Productos a almacenar.

R = Puertas de acceso/salida.

m_d = Posiciones de almacenaje disponibles

IV. RESULTADOS

A fin de aplicar la metodología propuesta, se muestra los resultados obtenidos en cada una de las fases.

A. Análisis de espacio disponible

Las mediciones hechas por el equipo al cuarto frío, revelan lo siguiente:

Área disponible: 12.8158 m².

Volumen disponible: 26.9131 m³.

Por otra parte las dimensiones del aire (disipador) se muestran en la figura 2.

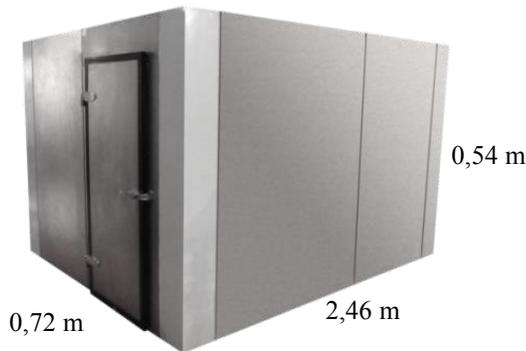


Fig 2. Dimensiones del cuarto frío

Otros datos concernientes a esta fase son:

Tipo de suelo: Poroso

Temperatura normal de operación: < 6° C

Nivel de Humedad: más del 90%

B. Análisis de sistemas de manejo de materiales

A partir del análisis realizado en torno a los actuales componentes de este sistema, el grupo investigativo optó por proponer un nuevo sistema de manejo de materiales (ver figura 3),



Largo 1.0 m, ancho 0.8 m, alto 0.95 m

Fig. 3. Carro para el manejo de materiales propuesto.

Debido a (i) El estado de deterioro de los actuales vehículos (carretillas y transpaletas). (ii) La incompatibilidad con las unidades de carga manejadas hasta el momento. (iii) La necesidad de modernización. (iv) La poca flexibilidad de los mismos. (v) La baja capacidad de manipulación, entre otros.

C. Consolidación de unidades de carga

Uno de los problemas fundamentales de las fallas del sistema de almacenaje que posee la empresa, es la falta de unidades de carga preestablecidas, por esta razón, el grupo investigador en base a un análisis de las dimensiones de cada uno de los productos diseñó 5 unidades de carga. Con esto se estandarizan las unidades a manejar, mejorando notablemente el manejo de materiales, y el control que se debe ejercer a los productos en los procesos de inventario y cuantificación de existencias. En la tabla I, se puede apreciar de manera detallada las características de estas unidades de carga.

TABLA I
ESPECIFICACIONES DE UNIDADES DE CARGA PROPUESTA

Referencia	Productos Contenidos	Cantidad
U1	Hamburguesa	36 paquetes de 6 unidades
	Mortadela	54 paquetes de 250 g
U2	Salchichón	30 unidades
	Manguera	108 unidades
U3	Salchicha	21 paquetes de 13 unidades
	Butifarra	27 paquetes de 16 unidades
	Chorizo	27 paquetes de 4 unidades
C1	Caja de pescado	No se depositan en canastillas
C2	Pasta de pollo	No se depositan en canastillas
UE	Bolsas de hielo	4 bolsas de 15 kg

Las unidades U1, U2, y U3 están formadas por una canastilla que contiene una cantidad determinada de los productos descritos; las unidades C1 y C2 corresponden a las actuales cajas de pescado y pasta de pollo, que por obvias razones no se decidió depositarlas en canastillas y la UE corresponde a bolsas de hielo que constituyen uno de los insumos empleados en el proceso productivo, que también son almacenados en esta área.

D. Análisis de niveles de inventario histórico

Para esta fase se tomaron como base los datos históricos correspondientes a los niveles de inventario de los últimos 6 meses, debido al reciente cambio en los niveles de producción, como consecuencia directa de las fluctuaciones en las ventas. Se consideró inapropiado tener en cuenta registros que daten de tiempos anteriores, puesto que las condiciones de producción no eran las mismas, y por lo tanto el resultado no iba a ser el más acorde.

Los registros consultados corresponden a periodos de tiempo de 15 días, al inicio y a la mitad de cada mes, puesto que fueron obtenidos a partir del mecanismo de control de inventario manejado por la empresa caso de estudio. Con los registros se elaboró un nivel de inventario promedio para cada tipo de producto, estos datos se observan en la tabla II.

TABLA II
NIVEL DE INVENTARIO PROMEDIO POR PRODUCTO

Producto	Nivel de inventario promedio
Hamburguesa	432
Mortadela	648
Salchichón	690
Manguera	2484
Salchicha	1197
Chorizo	1539
Butifarra	1539
Cajas de Pescado	50
Pasta de pollo	25
Hielo	92

E. Análisis de demanda histórica.

Similarmente a la fase anterior, se consideraron registros de la demanda histórica quincenal, en este caso de los últimos 6 meses: Noviembre y Diciembre de 2018, y lo que ha corrido de este año. Con base a estos datos, se elaboró un pronóstico para los meses de mayo y julio del año en curso, con el fin de establecer el nivel de ventas promedio que indicara el número de manipulaciones de cada producto, representado por el parámetro p_{jr} de la expresión (5).

En las figuras 4, 5 y 6, se muestra los pronósticos de ventas de hamburguesas, mortadela y pasta de pollo, a manera de ilustración del procedimiento utilizado. En la tabla III se evidencia el resumen de los niveles de demanda promedio quincenales de los dos próximos meses para cada uno de los productos en cuestión. El método de pronóstico utilizado fue promedio móvil con tendencia lineal, escogido para series de tiempo con el comportamiento de las ventas de los productos, y llevado a cabo a través del paquete de forecasting incluido en WinQSB.

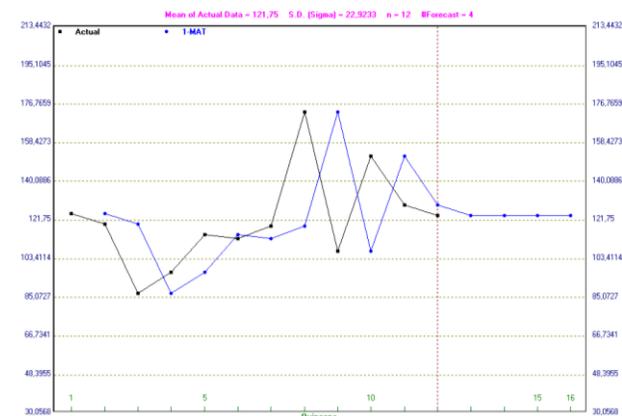


Fig. 5. Pronósticos para mortadela



Fig. 6. Pronósticos para pasta de pollo

F. Diseño de estanterías

En esta parte de la investigación con los datos obtenidos, el equipo de trabajo se limitó a utilizarlos como requerimientos del sistema de estanterías a proponer, combinando esto, con datos consultados en bibliografías físicas y virtuales, consultas hechas a los directivos de la organización y personas relacionadas con el tema, se elaboró un modelo en 3D, con las características del sistema propuesto (figuras 7, 8 y 9).

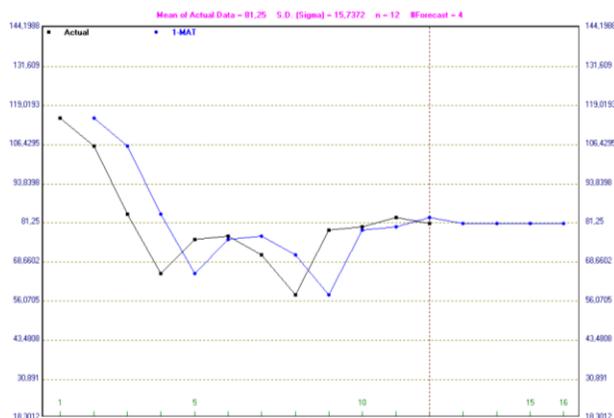


Fig. 4. Pronósticos para hamburguesa

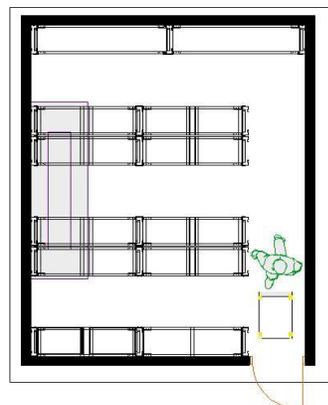


Fig. 7. Vista superior de sistema de estanterías en cuarto frío 1

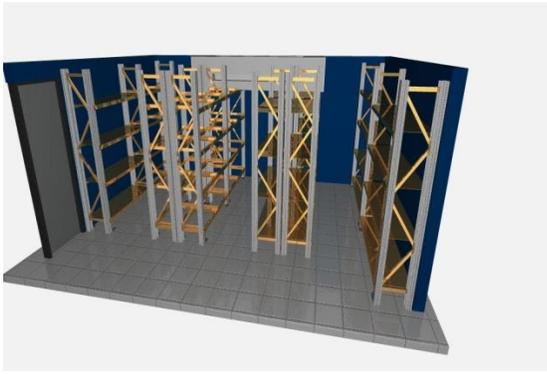


Fig. 8. Detalle sistema de estanterías propuesto

Cada posición de almacenaje de los 5 estantes más cercanos a la puerta de acceso/salida tiene dimensiones de: 1.24 m de largo, 40 cm de ancho y 50 cm de alto. Tiene capacidad de alojamiento para 4 unidades de carga U1, U2, U3 o UE; por lo tanto en cada nivel caben 8 unidades de carga de estas referencias (poseen 4 niveles). La estantería ubicada al fondo del cuarto frío fue destinada para la ubicación de las unidades de carga C1 y C2, y tiene una capacidad de 25 unidades por nivel (posee 4 niveles).

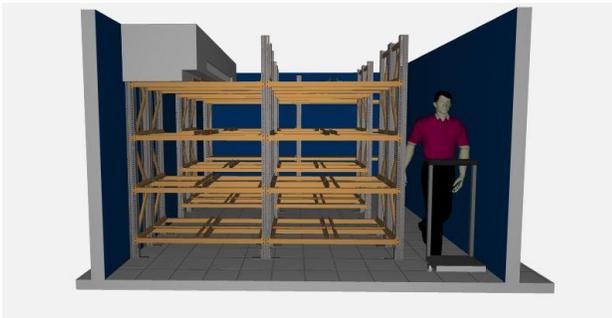


Fig. 9. Detalle sistema de estanterías propuesto

G. Asignación de posiciones de almacenaje

En esta fase se establece la asignación de posiciones de almacenamiento a cada uno de los productos manejados. Este proceso se llevó a cabo a partir de la implementación del modelo matemático descrito por la expresiones (1), (2), (3), (4), y (5), cuyos datos de entrada fueron calculados en las fases anteriormente desarrolladas.

TABLA III
POSICIONES DE ALMACENAJE REQUERIDO POR UNIDAD DE CARGA

Referencia	Posiciones requeridas
U1	12
U2	23
U3	57
C1	50
C2	25
UE	23

Para estimar el parámetro m_j se utilizaron los resultados de las tablas I y II, con el fin de determinar cuántas unidades de carga de cada tipo se necesitan para almacenar los niveles de inventario de cada producto. Los resultados se muestran en la tabla III.

El parámetro p_{jr} corresponde a los datos consignados en la tabla 3, ya que solo hay una puerta de acceso/salida.

Para estimar el parámetro t_{rk} se calcularon las distancias de la puerta de acceso/salida a cada una de las posiciones de almacenaje (152 en total), y basándose en la velocidad promedio de una persona (0.834m/s), se determinaron los datos de la figura 10.

		Posición de almacenaje																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1		4,39	3,65	2,9	2,16	2,4	3,14	3,88	4,63	5,39	4,84	4,1	3,36	3,6	4,34	5,08	5,88	4,56	5,3	6,04	6,79
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
2		4,66	3,92	3,18	2,43	2,67	3,42	4,16	4,9	5,66	5,12	4,38	3,63	3,87	4,62	5,36	6,15	4,83	5,58	6,32	7,06
		41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
3		4,94	4,2	3,45	2,71	2,95	3,69	4,44	5,18	6,14	5,4	4,65	3,91	4,15	4,89	5,64	6,43	5,11	5,85	6,59	7,34
		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
4		5,22	4,47	3,73	2,99	3,23	3,97	4,71	5,46	6,41	5,67	4,93	4,18	4,42	5,17	5,91	6,7	5,38	6,13	6,87	7,61
	nivel	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
5		5,49	4,75	4	3,26	3,5	4,24	4,99	5,73	6,69	5,95	5,2	4,46	4,7	5,44	6,19	6,98	5,66	6,4	7,15	7,89
		101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
6		5,77	5,02	4,28	3,54	3,78	4,52	5,26	6,01	6,97	6,22	5,48	4,74	4,98	5,72	6,46	7,25	5,94	6,68	7,42	8,17
		121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140
7		6,04	5,3	4,56	3,81	4,05	4,8	5,54	6,28	7,24	6,5	5,76	5,01	5,25	6	6,74	7,53	6,21	6,95	7,7	8,44
		141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
8		6,32	5,58	4,83	4,09	4,33	5,07	5,82	6,56	7,52	6,77	6,03	5,29	5,53	6,27	7,01	7,81	6,49	7,23	7,97	8,72

Fig. 10. Tiempo promedio desde la puerta a cada posición

La codificación de las posiciones de almacenaje se hizo de la siguiente forma, en la figura 9 se muestra las posiciones del primer nivel de estanterías, para el segundo y posteriores niveles, se suma a la referencia de cada posición el valor 20 según se avance en los niveles, por ejemplo la posición que se encuentra en el 4 nivel por encima de la posición 3 corresponde a $3 + 3(20) = 63$. Finalmente se implementó el modelo en el software de optimización GAMS y se encontraron los datos resumidos en la figura 11, con esto se completa el diseño del sistema de almacenaje previsto.

1		8	9		16	20	
2		7	10		15	19	
3		6	11		14	18	
4		5	12		13	17	

Fig. 9. Codificación posiciones de almacenaje

Como puede observarse, solo fueron asignadas 115 posiciones de almacenaje de 160 disponibles, evidenciando prematuramente el aumento del aprovechamiento del espacio disponible en los cuartos fríos. En la figura 10, no son mostradas las asignaciones de las unidades de carga C1 y C2, puesto que estas están destinadas al estante ubicado en el fondo del cuarto frío (ver figuras 7 y 8), ocupando 3 de los niveles disponibles (75 posiciones).

	posiciones de almacenaje																																																																																																																																																														
	1	2	3	4	5	81	82	83	84	85	6	7	8	9	10	86	87	88	89	90	11	12	13	14	15	91	92	93	94	95	16	17	18	19	20	96	97	98	99	100	21	22	23	24	25	101	102	103	104	105	26	27	28	29	30	106	107	108	109	110	31	32	33	34	35	111	112	113	114	115	36	37	38	39	40	116	117	118	119	120	41	42	43	44	45	121	122	123	124	125	46	47	48	49	50	126	127	128	129	130	51	52	53	54	55	131	132	133	134	135	56	57	58	59	60	136	137	138	139	140	61	62	63	64	65	141	142	143	144	145	66	67	68	69	70	146	147	148	149	150	71	72	73	74	75	151	152	153	154	155	76	77	78	79	80	156	157	158	159
unidad de carga	U3	U2	U2	U2	U2	U3	U3	U1	U2	U2	U3	U3	U1	U2	U2	U3	U3	UE	UE	U2	U1	U3	UE	U3	U3	U3	UE	U1	U2	U2	U3	U3	U3	U3	U3	UE	UE	U3	U3	UE	UE	U3	U3	U3	U3	U2	U2	U2	U3	UE	U3	U3	U3	UE	U3	U2	U1	U3	U3	U3	U3	U3	UE	U3	UE	UE	U3	U3	U2	U2	UE	U3	U3	U1	U1	U2	U3	U3	U3	U3	U3	U3	UE	U3	U1	U1	U3	UE	UE	U3	U3	UE	U3	U3	U2	U2	U2	UE	UE	U3	U1	U3	U1	U3	U3	UE	UE	U3	UE	U3	U3	U3	U3	UE	UE	U3	U3	U3	UE																																								

Fig. 11. Asignación de unidades de carga a cada una de las posiciones de almacenaje disponibles

V. CONCLUSIONES

Los datos obtenidos permiten establecer un completo sistema de almacenamiento por posiciones fijas en el cuarto frío 1 de empresa caso de estudio, que consta de: (i) Sistema de estanterías modulares y manejo de materiales, adecuados a las unidades de carga establecidas. (ii) Configuración de unidades de carga que facilitan el manejo y control de existencias dentro de la cadena logística. (iii) Asignación de posiciones de almacenamiento a productos a partir del flujo de operación de los mismos.

Por otra parte se obtuvieron cambios satisfactorios en cuanto al aprovechamiento de área y volumen del espacio disponible, pasando de un 70% y 40% actual a un 65% y 50% respectivamente. Como puede verse existe un aparente balance entre la situación actual y la propuesta hecha por el equipo de trabajo que no muestra ningún beneficio, sin embargo como se mencionó en secciones anteriores, la disposición actual era incapaz de alojar los niveles de inventario necesarios para satisfacer el volumen de ventas que se viene presentando últimamente, debido a la inestabilidad de los arreglos, los daños producidos a los productos, y la imposibilidad de realizar una recolección de pedido óptima. En contraposición a esto, el diseño propuesto soluciona estos problemas, mostrando como evidencia el aprovechamiento de las unidades de almacenaje, 71. 87% para las estanterías que contienen las unidades de carga U1, U2, U3 y UE; y un 75% para las que contienen unidades de carga C1 y C2, permitiéndole a la empresa elevar sus niveles de inventario, y de esta manera alcanzar los objetivos motivadores de la realización de la investigación: (i) Capacidad de adaptación a los nuevos niveles de ventas, (ii) Eficiencia en el desarrollo del proceso de mantenimiento, (iii) Adecuación de espacios de almacenamiento que permitan llevar a cabo la recolección de pedidos (picking) de una manera efectiva, segura y eficiente, (iv) Condiciones básicas para llevar a cabo un proceso de gestión y control de inventarios efectivo, (v) Prevenir el deterioro de los productos, por malos manejos, y (vi) Estructuras de almacenamiento firmes, resistentes y adecuadas a las características de los productos implicados.

REFERENCIAS

- [1] J. Ashayeri and L. Gelders. "Warehouse design optimization". *European Journal of Operational Research*, Vol. 21 No. 3, pp. 285-294. 1985.
- [2] A. Robledo. "Evaluation of the Internal Control of the Warehouse of the Faculty of Economic Sciences in the period 2014". *Doctoral Thesis National Autonomous University of Nicaragua*. 2016.
- [3] A. Alonso. "A study of the inventory management in Venezuela". *Journal of the Faculty of Engineering*. Vol. 24 No 3. 2016.
- [4] J. Tompkins, A. White, A. Bozer, H. Frazelle, M. Tanchoco and J. Trevino. "Facilities Planning". 2nd Ed. New York: Wiley. 1996.
- [5] K. Roodbergen and R. De Koster. "Routing Methods for Warehouses with Multiple Cross Aisles". *International Journal of Production Research*, Vol. 39 No. 9, pp. 1865-1883. 2001.

- [6] R. De Koster, T. Le-Duc and K. Roodbergen. "Design and Control of Warehouse Order Picking: A Literature Review". *European Journal of Operational Research*, Vol. 182 No. 2, pp. 481–501. 2007.
- [7] Y. Bozer and A. White. "Travel-time Models for Automated Storage/Retrieval Systems". *IIE Transactions*, Vol. 16, pp. 329–338. 1984.
- [8] H. Lee. "Performance Analysis for Automated Storage and Retrieval Systems". *IIE Transactions*, Vol. 29, pp. 15–28. 1997.
- [9] A. Rushton, P. Croucher and P. Baker. "The handbook of logistics and distribution management". *Understanding the supply chain*, Kogan Page, London. 2014.
- [10] Group Aberdeen. "Warehouse operations: Increase responsiveness through automation". *Aberdeen Group*, Boston. 2009.
- [11] E. Stuart. "Excellence in warehouse management – how to minimize costs and maximize value". *John Wiley & Sons Ltd.*, Chichester. 2005.
- [12] R. Mason and B. Evans. "The Lean Supply Chain. Managing the Challenge at Tesco", *Kogan Page*, London. 2015.
- [13] J. Coyle, E. Bardi, and J. Langley. "Zarządzanie logistyczne". *Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne*. Warszawa. 2010.
- [14] F. Iris and K. Roodbergen. "Layout and control policies for cross docking operations". *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 61-4/2011, 911–919.
- [15] G. Richards. "Warehouse management – 2nd edition, a complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse". *Kogan Page*, London. 2014.
- [16] R. Andrew and R. Debjit. "Warehouse design and management". *International Journal of Production Research*, Vol. 55 No. 21, pp. 6327-6330. 2017.
- [17] A. Lorenc, M. Szkoda and E. Wyraz. "Methods of identifying the optimal positioning of different products within a warehouse with regard to minimizing the costs associated with order picking". *Czasopismo Techniczne*, Vol. 5, pp. 149-162. 2018.
- [18] C. Petersen and G. Aase. "A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking". *International Journal of Production Economics*, Vol. 92 No. 1, pp. 11–19. 2004.
- [19] K. Roodbergen and R. De Koster. "Routing order pickers in a warehouse with middle aisle". *European Journal of Operational Research*, Vol. 133 No. 1, pp. 32–43. 2001.
- [20] I. Al Kattan and A. Bin Adi. "Multi-criteria decision making on total inventory cost and technical readiness". *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, Vol. 2 No. 3, pp. 137–150. 2008.
- [21] S. Barreto, J. Paixao and B. Santos. "Using clustering analysis in a capacitated location-routing problem". *European Journal of Operational Research*, Vol. 179, pp. 159–164. 2007.
- [22] R. Francis, "On some problems of rectangular warehouse design and layout". *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 18 No. 10, pp. 595-604. 1967.
- [23] M. Rosenblatt and Y. Roll. "Warehouse Design with storage policy considerations". *International Journal of Production Research*, Vol. 22 (5), 809-821. 1984.
- [24] J. Ashayeri, L. Gelders and L. Van Wassenhove. "Inventory issues in warehouse design problem". Working Paper No. 85-15, Department of Industrial Management, University of Leuven, Belgium. 1985.
- [25] H. Wilson. "Order quantity, product popularity, and the location of stock in a warehouse". *AIIE transactions*, Vol. 9 No.3, pp. 230-237. 1977.
- [26] J. Matson and J. White. "Storage system optimization. Working Paper PDRC 81-09". *School of Industrial and System Engineering*, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA. 1981.
- [27] S. Roberts and J. Reed. "Optimal warehouse bay configurations". *AIIE Transactions*. Vol. 4 No. 3, pp. 178-185. 1972.
- [28] S. Roberts. "Warehouse size and design". Ph.D. Dissertation, Purdue University, West Lafayette, IL. 1968.
- [29] Y. Karasawa, H. Nakayama, and S. Dohi. "Trade-off analysis for optimal design of automated warehouses". *International Journal of Systems Sciences*, Vol. 11 No. 5, pp. 567-676. 1980.
- [30] J. Gu, M. Goetschalckx, and L. McGinnis. "Research on warehouse operation: A comprehensive review". *European journal of operational research*, Vol. 177 No. 1, pp.1-21. 2007.
- [31] W. Hausman, L. Schwarz, and S. Graves. "Optimal storage assignment in automatic warehousing system". *Management Science*, Vol. 22 No. 6, pp. 629-638. 1976.
- [32] F. Olier, C. Porto, R. Villafañe and A. Torrecilla, "Trabajo Aplicativo Diseño de Plantas". *Universidad Tecnológica de Bolívar*. P 40. 2017.