

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA INTELIGENTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SURTIMIENTO EN UN ALMACÉN AS/RS

ANALYSIS AND DESIGN OF AN INTELLIGENT ARCHITECTURE FOR OPTIMIZING PICKING IN AN AS/RS WAREHOUSE

Diana Caride González

Tecnológico Nacional de México/ IT de Celaya, México
m2203009@itcelaya.edu.mx

Vicente Figueroa Fernández

Tecnológico Nacional de México/ IT de Celaya, México
vicente.figueroa@itcelaya.edu.mx

Recepción: 22/mayo/2023

Aceptación: 1/marzo/2024

Resumen

En este trabajo de investigación se propone diseñar una arquitectura inteligente para mejorar el surtimiento en la línea de producción de un almacén automatizado AS/RS dirigido a las MiPymes. Se estudian opciones de diseño, se utilizan técnicas de simulación eventos discretos para simular diferentes escenarios y evaluar el rendimiento del sistema de almacenamiento propuesto en diferentes situaciones. Se emplea una metodología existente para desarrollar un sistema de almacenamiento eficiente. Se valida la metodología con un caso práctico en la industria automotriz que involucra la reubicación y rediseño de un sistema de almacenamiento para piezas mecánicas. Se realiza la clasificación ABC de los productos en el almacén para una gestión más eficiente. Se presenta un Diagrama de estrellas como herramienta visual y se determinan las operativas para diferentes escenarios en el almacén.

Palabras Clave: Big Data, transelevadores, simulación de eventos discretos.

Abstract

In this research work, we propose designing an intelligent architecture to improve order fulfillment in the production line of an AS/RS automated warehouse targeting

SMEs. We study design options and use discrete event simulation techniques to simulate different scenarios and evaluate the performance of the proposed storage system in various situations. We employ an existing methodology to develop an efficient storage system. The methodology is validated through a practical case in the automotive industry, involving the relocation and redesign of a storage system for mechanical parts. We perform ABC classification of products in the warehouse for more efficient management. A Star Diagram is presented as a visual tool, and operations are determined for different scenarios in the warehouse.

Keywords: Big Data, transelevators, discrete event simulation.

1. Introducción

[Puerta Salazar & Rodríguez Hübner 2021], plantea que el avance tecnológico es constante e inevitable, y la logística de los almacenes no es ajena a esta tendencia. Cada vez más empresas, medianas y grandes, se modernizan e implementan nuevas tecnologías en la gestión de sus instalaciones. Por esta razón, es importante que las organizaciones cuenten con un sistema de gestión de almacenes que realice las actividades de almacenamiento y recuperación de materiales en tiempo y forma, y, además, pueda llevar a cabo la identificación y localización automática del inventario en todo momento.

En el mundo la tecnología 4.0 ha sido aplicada, en un alto porcentaje, en empresas de países que cuentan con suficiente capital para invertir en este tipo de tecnologías, volviéndose prácticamente prohibitiva para los países que no cuentan con los recursos y el capital para emigrar a estas tecnologías. Actualmente no se cuenta con una metodología exacta para diseñar una arquitectura inteligente en organizaciones con limitaciones económicas para implementarlas. En la presente investigación, se pretende identificar los elementos básicos para que estas empresas puedan invertir y desarrollar de manera escalonada y ordenada la tecnología 4.0, con el fin de realizar actividades de almacenamiento, distribución y surtimiento a las líneas de producción.

Para la elaboración de esta investigación se realizó una búsqueda bibliográfica a partir de la lectura de 30 artículos, de estos se seleccionaron 10 artículos que

concuerdan con el tema de tesis, como se resume en la tabla 1 que conforma el Estado del Arte.

Tabla 1 Estado del arte.

Nombre del artículo	Nombre de la revista	Autor	Resumen
Metodología de Diseño de Almacenes: Fases, herramientas y mejores prácticas.	Universidad de Navarra (Tesis Doctoral)	[Chackelson Lurner C. , 2013]	Esta investigación tiene con objetivo proponer una metodología de diseño de almacenes que ayude al diseñador a identificar alternativas adecuadas a la complejidad del almacén y al rendimiento deseado.
Diseño de un sistema de surtimiento de material a líneas de producción a través de una red neuronal artificial	Pistas educativas vol.40, ISSN: 2448-847x Tecnológico Nacional de México en Celaya.	[Díaz Barriga, Figueroa Fernández, Vázquez López, & Jiménez García, 2018]	El objetivo es dar señales rápidas y confiables de surtimiento a una línea de producción en función de variables establecidas en este trabajo.
Identificación de la variabilidad en un sistema AS/RS	CULCYT (Cultura Científica y Tecnológica) ISSN: 2007-0411	[De Anda De Anda, Portilla, Romero López, & Campos, 2015]	El trabajo mencionado planteó como objetivos, realizar un diseño de una máquina AS/RS con materiales de bajo costo, piezas ya existentes y maquinaria con la cual cuenta el IIT.
Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0	Revista UIS Ingenierías ISSN: 1657-4583 ISSN:2145-8456 Vol. 19, n.º 2, pp. 177-192 Universidad Industrial de Santander Colombia	[Rozo García, 2020]	El presente trabajo contextualiza las principales tecnologías de la era de la digitalización o Industria 4.0, también conocida como Cuarta Revolución Industrial.
Ventajas de los sistemas de almacenamiento automatizados	Universidad Militar Nueva Granada.	[Tapias Sotomayor, 2019]	El presente artículo trata las ventajas de la automatización en los sistemas de almacenamiento, ya que la infraestructura física y los eventos de control operacional dentro del sistema pueden mejorar mediante la aplicación de tecnologías emergentes que faciliten la funcionalidad coordinada y la flexibilidad operativa.
Desarrollo de una propuesta de diseño de un sistema de almacenamiento autónomo para el sector automotriz de la ciudad de Celaya, Guanajuato	Tecnológico Nacional de México en Celaya (Tesis)	[Casas Huerta F. A., 2017]	En el presente trabajo de investigación, se elabora una propuesta de diseño de un sistema de almacenamiento enfocado al control autónomo de los inventarios. Se lleva a cabo una etapa de investigación para cubrir los diferentes aspectos científicos, técnicos y tecnológicos involucrados en un sistema de almacenamiento, desde su estructura básica hasta aplicaciones y avances recientes tales como los RFID o los WMS.
Propuesta de diseño de un sistema de control de inventarios utilizando identificadores por radiofrecuencia y transelevadores en un almacén del sector automotriz	Tecnológico Nacional de México en Celaya (Tesis)	[Roque Romero, 2022]	En el presente trabajo de investigación se propone el diseño de un sistema de control de inventarios que utilice identificadores por radiofrecuencia y transelevadores para un almacén del sector automotriz. Se lleva a cabo una búsqueda bibliográfica para cubrir los aspectos relacionados con los identificadores por radiofrecuencia y transelevadores.
Diseño de la estructura física de un AS/RS para fines didácticos	Universidad Tecnológica de la Mixteca (Tesis)	[López Hayna, 2015]	La presente se realiza una investigación documental y de mercado sobre los sistemas AS/RS en la industria y en la educación y finaliza con las necesidades del usuario y el cliente.

Fuente: Elaboración propia

2. Métodos

El método de diseño de almacenes que se utilizó para este trabajo de investigación fue propuesto por [Casas Huerta, 2017]. Este método, está basado en el estudio de los cuatro métodos de diseño de sistemas de almacenamiento de mayor relevancia dentro de la literatura y consta de siete pasos:

- Definir los requisitos: el primer paso establecido en el método de diseño de almacén es definir los requerimientos y las restricciones que debe de presentar el diseño final. Los indicadores a los que se les debe dar prioridad son el coste, la productividad y la calidad. Los diseños propuestos se seleccionarán con base a los requisitos establecidos en este punto.
- Obtener y analizar los datos: esta etapa sirve para medir el nivel de complejidad del almacén. También se determina si se hará un diseño desde cero o si ya hay instalaciones previas y se tiene que hacer un rediseño. Los datos se obtienen mediante el uso de una herramienta llamada “perfil de actividades del almacén”. El perfil de actividades del almacén se desglosa en perfil de órdenes del cliente (líneas por orden y cantidad por orden), perfil de referencias (rotaciones y características del producto como familia, valor, temperatura, etc.), perfil de inventario (unidades de almacenaje (SKUs) y cantidad de referencias almacenadas) y perfil de actividades (necesidad de acondicionamiento y necesidad de consolidación)
- Preparar posibles layouts: en esta sección, tomando en cuenta las necesidades previamente establecidas y el perfil de actividades del almacén, se definen las áreas requeridas para realizar las operaciones del almacén. Se determina si son necesarias áreas de acondicionamiento y consolidación de productos, y se decide si se empleará uno o varios sistemas de almacenamiento.
- Adicional a la información recabada en el paso uno y dos, se hace uso del layout propuesto para determinar el flujo de material de un área a otra y establecer las opciones en cuanto a manejo de material se refiere. Esta selección dependerá en gran medida de la cantidad y de las características de unidades a manipular.

- Nivel de automatización. Se determina el nivel de automatización que se desea que tenga el almacén, nuevamente se dará acorde a los requisitos deseados al inicio del diseño y al perfil de actividad del almacén.
- Se proponen los sistemas de almacenamiento más adecuados, de acuerdo con sus características. En caso de que ya exista un sistema previo, determinar.
- Se selecciona el equipo necesario para el transporte del material, según las necesidades y a las capacidades económicas de la compañía.
- Determinar operativas: son las estrategias utilizadas para la gestión física del material en el almacén como la recepción, ubicación, almacenaje, preparación de pedidos y expedición.
- Evaluar posibles diseños: se hace un estudio para identificar la mejor opción dentro de las disponibles. En esta investigación, esta parte se realizará con ayuda de un programa de simulación.
- Identificar el diseño final: Sobre la base de los resultados obtenidos en la evaluación, se elige la opción más conveniente y se hace la propuesta de implementación.

3. Resultados

Para validar las técnicas de diseño y simulación previamente mencionadas, se examinó un caso práctico en una compañía automotriz establecida en la ciudad de Celaya, Guanajuato. Con el objetivo de proteger su privacidad, esta empresa será conocida como "Compañía Automotriz A".

Actualmente, la empresa automotriz ha decidido realizar cambios en el sistema de almacenamiento de su planta de forjado. La planta de forjado cuenta con dos almacenes: uno para la materia prima y otro para el producto terminado. Después de la producción, los productos terminados se llevan directamente al almacén de producto terminado, donde se procesan los pedidos y se envían a la planta de ensamble. La compañía ha decidido dismantelar el almacén de materia prima para utilizar ese espacio en otros procesos de producción y adecuar el área del almacén de producto terminado para el resguardo de la materia prima. Además, se ha

planificado reubicar el almacén de producto terminado a una bodega ubicada en un punto intermedio entre la planta de forjado y la planta de ensamble.

Para realizar estos cambios, se ha planeado trasladar parte de la infraestructura y del equipo de manejo de materiales de los almacenes actuales al nuevo almacén. Se han aplicado los pasos de la metodología de diseño para llevar a cabo esta transición de manera eficiente y efectiva.

Definir los requisitos del sistema

En primer lugar, se llevó a cabo el análisis de los requisitos del almacén de acuerdo con las necesidades y objetivos de la empresa. La Compañía Automotriz A tiene como prioridad mejorar la productividad y reducir los retrasos en la entrega de pedidos, lo que motivó la implementación de cambios recientes. Para lograr estos objetivos, se puso énfasis en el aumento de la productividad en los diseños propuestos, manteniendo un equilibrio con la reducción de costos y el incremento en la calidad de las operaciones. Con base en estos requerimientos, se procedió a la obtención del perfil de actividad del almacén. Por otra parte, la empresa carece de una estructura para la organización de sus productos dentro del almacén.

Obtener y analizar datos

En la bodega de piezas forjadas, se encuentran un total de 500 productos diferentes identificados por un SKU. Estos SKU se agrupan en cuatro familias distintas: campana, tulipán, triceta y junta deslizante (DO). La demanda total mensual de estas cuatro familias es de alrededor de 4,900,000 unidades. La empresa automotriz A desea tener suficiente inventario guardado en el almacén para cubrir un día de producción, lo que equivale aproximadamente a 160,364 unidades. En la tabla 2 se muestra la clasificación ABC de los productos en el almacén debido a que no se encuentran clasificados.

Preparar posibles layouts

Una vez recopilada la información necesaria, se procedió a realizar propuestas de distribución del espacio. La infraestructura del almacén consta de ocho racks con

profundidad simple, siete de ellos tienen una altura de 8 metros, un ancho de 1.5 metros y una longitud de 60 metros, con una capacidad de almacenar hasta 180 tinas, mientras que el octavo rack tiene la misma altura y ancho, pero sólo tiene 40 metros de longitud y capacidad para almacenar hasta 120 tinas, lo que permite un total de 1380 tinas para productos almacenados. Es importante mencionar que la capacidad está determinada por el número de estantes en los racks, más que por sus dimensiones físicas. El artículo 35 (Tulipán) está impactando de mayor manera, los inventarios de este artículo representan 0.4 porcentaje de la inversión de inventario por lo que se debe tomar estrategias.

Tabla 2 Clasificación ABC de los productos Campana, Tulipán, Triceta, Junta deslizante.

No. Art.	Código del artículo	Precio unit (USD)	Demanda mensual	Utilización	% utiliz.	Orden ABC	%	Clasif. ABC
1	22 (Campana)	35	950,000.0	33,250,000.0	0.3	35.0	0.4	A
2	35 (Tulipán)	30	1,400,000.0	42,000,000.0	0.4	22.0	0.3	B
3	25 (Triceta)	20	1,350,000.0	27,000,000.0	0.2	25.0	0.2	C
4	74 (Junta deslizante)	7	1,200,000.0	8,400,000.0	0.1	74.0	0.1	C
SUMA			4,900,000.0	110,650,000.0				

Fuente: Elaboración propia

Considerando los objetivos de la investigación, se plantearon tres escenarios para la distribución del espacio:

- El primer escenario propone replicar la configuración actual del diseño, que cuenta con una zona de racks de 1200 m², un área de recepción de materiales de 100 m² y un área de almacenamiento provisional de 50 m² cuadrados, donde se realizan las capturas de datos del producto
- En el segundo escenario se mantuvo la misma distribución, pero se eliminó el área de almacenamiento provisional.
- Finalmente, en el tercer escenario se eliminó todo excepto la sección de racks, ya que se buscó una autonomía casi total en esta área.

Considerar posibles equipos y características que pueden ser:

- Nivel de automatización: En el primer escenario se sigue un enfoque convencional en la gestión del almacén, mientras que en el segundo se introduce cierto nivel de automatización en los procesos de entrada, ubicación

y salida de los materiales. En el tercer escenario se va un paso más allá, con una automatización casi completa del funcionamiento del almacén.

- Sistema de almacenaje: Los dos primeros escenarios comparten el mismo sistema de almacenamiento, el cual ha sido previamente mencionado, consta de racks de pallets convencionales. No obstante, en el tercer escenario se presenta una alternativa automatizada de almacenamiento y distribución con una capacidad similar al sistema actual de almacenamiento y recuperación automatizado (AS/RS).
- Equipos de manutención: Una vez más, los dos primeros escenarios planificados comparten el mismo conjunto de maquinaria de manipulación de carga. Dicho conjunto incluye dos montacargas para la descarga del material y un montacargas diseñado para pasillos estrechos para su almacenamiento. En contraste, el tercer escenario solo cuenta con un montacargas disponible para llevar a cabo dichas tareas.

Determinar operativas

En este paso se presenta el proceso de validación del Diagrama de estrellas. Para la validación de esta herramienta se detalla el estudio Delphi de dos rondas llevado a cabo con 10 expertos. Inicialmente se contactan 17 expertos (de forma anónima) en la empresa automotriz A, señalando el cargo que ocupa cada trabajador. La tasa de respuesta fue aproximadamente del 60%, logrando que 10 expertos participaran de forma activa en el proceso. Con estos expertos se completaron dos rondas, siendo necesarios dos cuestionarios para lograr la aceptación general. Además, se presenta una nueva versión del diagrama de estrellas incluyendo las aportaciones de los expertos. Se determinarán las operativas correspondientes para un escenario convencional, semiautomático y totalmente automático. Debido a los comentarios enviados por los expertos en el primer cuestionario, fue posible mejorar la herramienta en los aspectos siguientes:

- Para el proceso de recepción se incluyó el concepto de logística inversa, agregando la rama “Origen y tipo de producto” en la cual se contemplan el Flujo desde el proveedor (directo) como el Flujo desde el cliente (inverso).

- Se realizó una distinción entre el cross-docking por pedido (sin stock, sin manipulación) y el cross-docking por artículo (sin stock, con manipulación) en la rama “Gestión de stocks”. Esto es importante ya que varios expertos consideraron que era necesario aclarar mejor estos dos conceptos, separándolos y detallando la necesidad de manipulación para evitar confusiones entre ambos términos.
- Se cambió la rama “Recepción Lógica” por “Gestión de datos de pedidos”, incluyéndose tres niveles: Manual, Informática y Pre-recepción de pedido (albarán electrónico mediante EDI o intercambio electrónico de datos).
- Se sustituyó la rama “Nivel tecnológico” por “Recepción lógica/ Lectura” para hacer referencia al modo en el cual se lleva a cabo la función de lectura o entrada de los artículos recepcionados. En la misma se distinguieron dos niveles: Automático, el cual incluye las diferentes formas de lectura utilizando tecnología (código de barras, RFID, y la visión artificial, esta última considerando el aporte de uno de los expertos) y Manual, empleando papel.
- Para el proceso de ubicación se cambió el nombre a la rama “Ubicación o preparación agrupada” por “Ciclos combinados” para hacer referencia únicamente al aprovechamiento de los viajes en vacío de estos dos procesos. Se mantuvo la terminología en inglés referente al “Nivel de automatización” (Parts to Picker y Picker to Parts), ya que la traducción empleada daba lugar a interpretaciones erróneas. Se cambió la rama “Nivel tecnológico” por “Búsqueda y verificación de hueco” para hacer referencia a la función, mientras que la tecnología empleada para la misma fue incluida en los niveles: Con tecnología y Sin tecnología.

Se añadieron los subniveles Simultánea y Secuencial al nivel Continua de la rama “Modo de lanzamientos de órdenes” para distinguir cuando las órdenes que se lanzan de forma paralela (la primera) o si a pesar de ser continuas se lanzan con una determinada secuencia (la segunda). Se incorporaron a la rama “Asignación de operarios a zonas” los conceptos: Constante, Dinámico y Periódico.

- Para el proceso de almacenaje se han incorporado las opciones de almacenar tanto pallets enteros como $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$ pallets, así como también en contenedores o en Kits5. Se ha añadido la rama “Control de inventario” para poder contemplar tanto un control Manual como uno Automático (Continuo o Periódico). Se agregaron cuatro nuevas estrategias de almacenaje: Primer hueco libre, según el volumen de salida COI, según criterios de entrada y salida (FIFO, LIFO, FEFO, etc.) y se ha separado la asignación por familias de la asignación por clases. Se ha cambiado el concepto Valor por Seguridad para hacer referencia a los criterios de Zonificación empleados en almacenes para proteger o separar del resto de productos a aquellas referencias costosas o peligrosas.
- Para el proceso de preparación se separó el concepto “Agrupación de órdenes y clasificación” del de “Ubicación o preparación agrupada”, creándose una rama específica en el proceso de Preparación, contemplando los niveles: Por pedido, Por zona y Por artículo.
Se cambió el nombre a la rama “Ubicación o preparación agrupada” por “Ciclos combinados” para hacer referencia únicamente al aprovechamiento de los viajes en vacío de estos dos procesos. Se mantuvo la terminología en inglés referente al nivel de automatización (Pats to Picker y Picker to Parts), ya que la traducción empleada daba lugar a interpretaciones erróneas. Se cambió la rama “Nivel tecnológico” por “Búsqueda y verificación de hueco” para hacer referencia a la función, mientras que la tecnología empleada para la misma fue incluida en los niveles: Con tecnología y Sin tecnología. Se añadieron los subniveles Simultánea y Secuencial al nivel Continua de la rama “Modo de lanzamientos de órdenes” para distinguir cuando las órdenes que se lanzan de forma paralela (la primera) o si a pesar de ser continuas se lanzan con una determinada secuencia (la segunda). Se incorporaron a la rama “Asignación de operarios a zonas” los conceptos: Constante, Dinámico y Periódico.
- Para el proceso de expedición se agregó la rama “Tipología de carga” para incluir los conceptos: carga completa (camión lleno con mono-destino o multi-

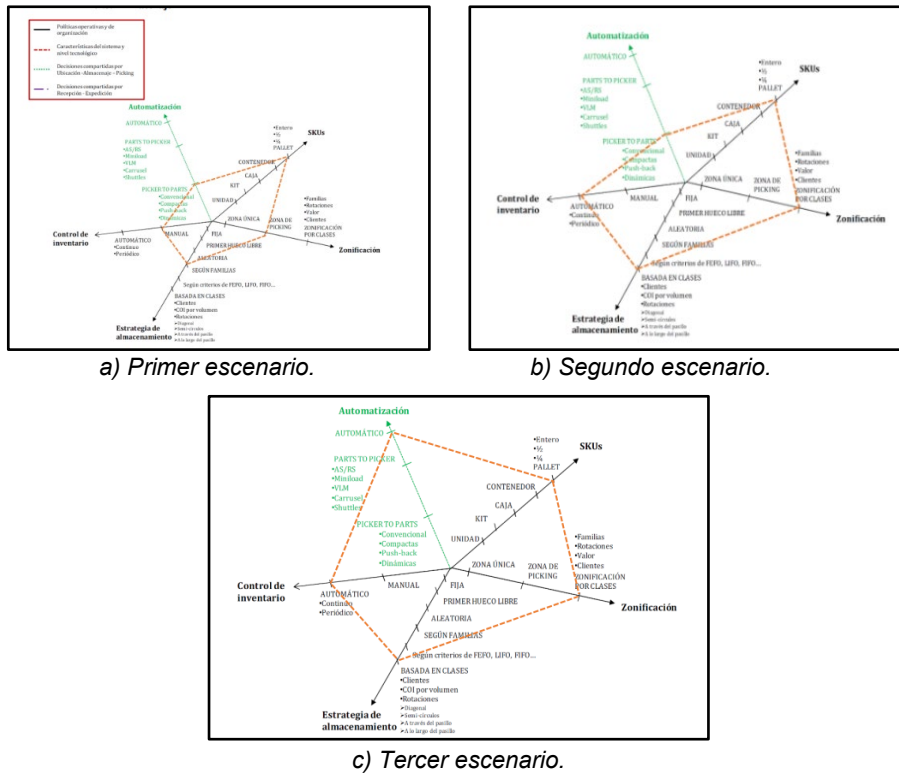
destino) o Grupaje. Se añadió la rama “Mosaico de carga” para distinguir la definición del mosaico de carga: sin software, con software básico (cálculo volumétrico con criterios de apilamiento) y con software avanzado (cálculo volumétrico con criterios de apilamiento y cálculo de secuencia de carga según lugar de descarga). Se incluyó el concepto de logística inversa, agregando la rama “Origen y tipo de producto” en la cual se contemplan el flujo desde proveedor (directo) como el flujo desde el cliente (inverso). Se realizó una distinción entre el cross-docking por pedido (sin stock, sin manipulación) y el cross-docking por artículo (sin stock, con manipulación) en la rama “Gestión de stocks”. Esto es importante ya que varios expertos consideraron que era necesario aclarar mejor estos dos conceptos, separándolos y detallando la necesidad de manipulación para evitar confusiones entre ambos términos. Se cambió la rama “Expedición Lógica” por “Gestión de datos de pedidos” en la cual se incluyeron tres niveles: Manual, Informática y Pre-recepción de pedido (albarán electrónico mediante EDI o intercambio electrónico de datos). Se sustituyó la rama “Nivel tecnológico” por “Expedición lógica/ Lectura” para hacer referencia al modo en el cual se lleva a cabo la función de lectura o entrada de los artículos recepcionados. En la misma se distinguieron dos niveles: Automático, el cual incluye las diferentes formas de lectura utilizando tecnología (código de barras, RFID, y la visión artificial, esta última considerando el aporte de uno de los expertos) y Manual, empleando papel.

Luego de mejorar el diagrama de estrellas con las aportaciones realizadas por los expertos, se les envió un segundo cuestionario con el fin de validar el nuevo contenido de la herramienta. Las preguntas incluidas pretenden recoger comentarios relacionados a los cambios realizados a la versión original del Diagrama de estrellas, o bien incluir nuevas aportaciones que no hayan sido recogidas hasta el momento. El segundo cuestionario ratificó el nuevo Diagrama de estrellas, después de haber sido sometido a un proceso de mejora y validación en el cual participaron 10 expertos en diseño de almacenes.

Después de haber sido sometido a un proceso de mejora y validación el diagrama de estrella, se presentan las alternativas de diseño de los cinco procesos de flujo de material. Las figuras 1, 2 y 3 muestran los procesos de Almacenaje, la Recepción y Expedición, y la Ubicación y Preparación respectivamente. Además, se determinan las operativas correspondientes para cada escenario de acuerdo con una observación visual realizada al almacén.

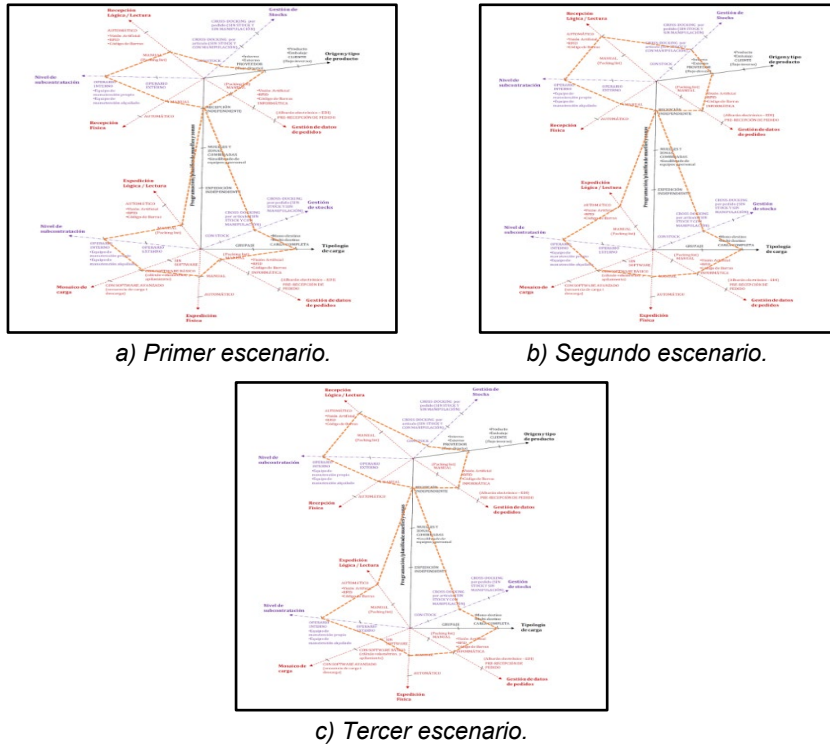
4. Discusión

Se utiliza una metodología existente como herramienta de diseño para el desarrollo de un sistema de almacenamiento eficiente. Se elaboran varias propuestas de diseño utilizando la metodología, con el fin de identificar la mejor solución para el sistema de almacenamiento.



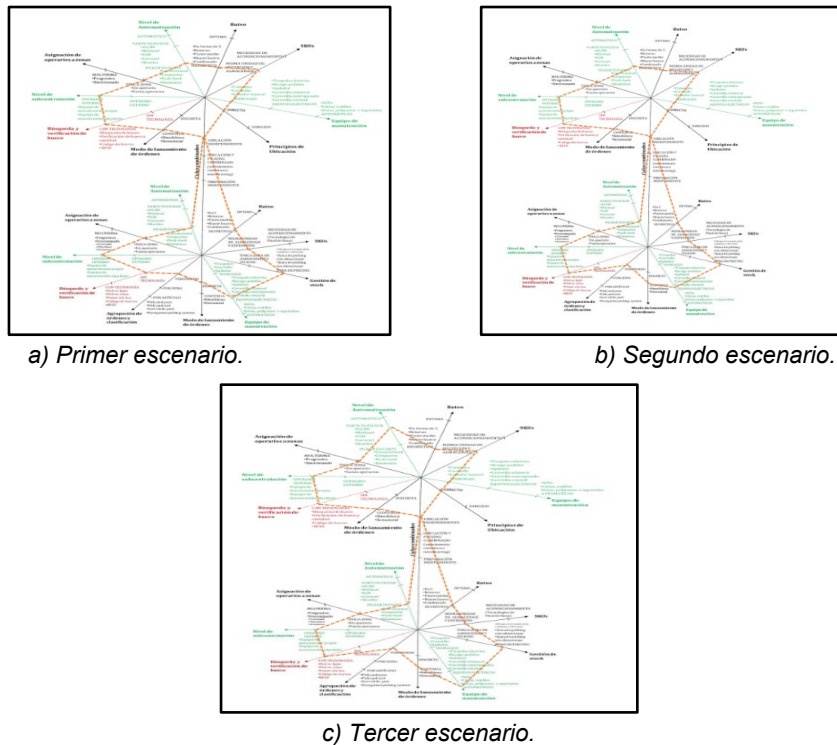
Fuente: Elaboración propia

Figura 1 Operativa de almacenaje.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2 Operativas de recepción y expedición.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3 Operativas de ubicación y preparación

Se realiza la clasificación ABC de los productos en el almacén para identificar los productos más importantes y asignarles un nivel de prioridad en términos de gestión y control de inventario. Esto permite una gestión más eficiente de los productos y una mayor rentabilidad en el almacén. El estudio Delphi realizado ayudó a la mejora y validación de la nueva herramienta desarrollada para la configuración de los procesos de flujo de material en almacenes, durante la etapa de diseño. Para ello se llevaron a cabo dos rondas de preguntas, siendo necesario desarrollar dos cuestionarios que incluyeron preguntas relacionadas con el formato de la herramienta y los conceptos allí contemplados. Se comprobó que el Diagrama de estrellas resulta útil para la visualización de las múltiples alternativas existentes, siendo claro, conciso y completo.

5. Conclusiones

- La aplicación de esta metodología genera varias propuestas de diseño con el objetivo de encontrar la solución óptima para el sistema de almacenamiento.
- La clasificación ABC de los productos en el almacén, resulta una mejor gestión de los productos y mayor rentabilidad en el almacén.
- El estudio Delphi desempeña un papel fundamental en la mejora y validación de una nueva herramienta diseñada para configurar los procesos de flujo de material en los almacenes durante la etapa de diseño.
- El uso del Diagrama de estrellas es una forma efectiva y completa de visualizar las múltiples alternativas disponibles.
- Se define las operaciones correspondientes para escenarios convencionales, semiautomáticos y totalmente automáticos.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Bahos León, N., & Blanco Caballero, B. J. (2019). Diseño y construcción de una maquina AS/RS para almacenamiento y extracción de artículos electrónicos de una bodega. (Tesis). Bucaramanga: Universidad Autónoma de Bucaramanga.

- [2] Casas Huerta, F. (2017). Desarrollo de una propuesta de diseño de un sistema de almacenamiento autónomo para el sector automotriz de la Ciudad de Celaya, Gto. (Tesis de maestría). Celaya: TecNM.
- [3] Chackelson Lurner, C. (2013). Metodología de diseño de almacenes: Fases, herramientas y mejores prácticas. (Tesis doctoral). San Sebastián.: Universidad de Navarra.
- [4] De Anda De Anda, F., Portilla, L. V., Romero López, R., & Campos, D. A. (2015). Identificación de la variabilidad en un sistema AS/RS. *CULCyT Cultura Científica y Tecnológica*, 12, 172-180.
- [5] Díaz Barriga, J. L., Figueroa Fernández, V., Vázquez López, J. A., & Jiménez García, J. A. (diciembre de 2018). Diseño de un sistema de surtimiento de material a la línea de producción a través de una red neuronal artificial. *Pistas Educativas*, 40(131).
- [6] López Hayna, K. (2015). Diseño de la estructura física de un AS/RS para fines didácticos. (Tesis). Huajuapán De León: Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- [7] Puerta Salazar, S., & Rodríguez Hübner, V. A. (2021). Automatización de almacenes: Nuevas Tecnologías. (Trabajo de Investigación). Lima: Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- [8] Rincón Albarracín, A. C., & Rodríguez Mayorga, D. R. (2020). Diseño de un sistema de control para AGVs a utilizar en el marco de una emulación en un sistema de almacenamiento y recuperación automática (AS/RS). (Tesis). Bogotá, Colombia.: Pontificia Universidad Javeriana.
- [9] Roque Romero, E. N. (2022). Propuesta de diseño de un sistema de control de inventarios utilizando identificadores por radiofrecuencia y transelevadores en un almacén del sector automotriz. (Tesis). Celaya, Guanajuato.: Tecnológico Nacional de México en Celaya.
- [10] Roza García, F. (3 de abril de 2020). Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0. *Revista UIS Ingenierías.*, 19(2), 177-191. doi: <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n2-2020019>
- [11] Tapias Sotomayor, C. d. (25 de junio de 2019). Ventajas de los sistemas de almacenamiento automatizados. Universidad Militar Nueva Granada.