

Recepción: 07 de diciembre de 2014

Aceptación: 22 de diciembre de 2014

Publicación: 29 de diciembre de 2014

EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO AUTOMÁTICO EN SISTEMAS DE FABRICACIÓN FLEXIBLE

EVOLUTION OF AUTOMATIC STORAGE SYSTEMS IN FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS

David Bautista Rodríguez¹

Raúl Cremades Grau²

David Juárez Varón³

1. Máster Universitario en Ingeniería de Organización y Logística. Ingeniero Técnico en Diseño Industrial. Universidad Politécnica de Valencia. E-mail: dabauro1@epsa.upv.es
2. Máster Universitario en Ingeniería de Organización y Logística. Ingeniero Técnico en Diseño Industrial. Universidad Politécnica de Valencia. E-mail: raucreg@epsa.upv.es
3. Ingeniero en Organización Industrial. Doctor en Ingeniería (programa del dpto. de Ingeniería Mecánica y Materiales). Universidad Politécnica de Valencia. E-mail: djuarez@mcm.upv.es

RESUMEN

Este artículo trata de analizar la evolución y situación de los almacenes automáticos a nivel industrial. Desde una puntualización histórica, se relacionan las principales investigaciones en torno a este tipo de almacenes, principalmente basadas en algoritmos de resolución de los objetivos, con el fin de mejorar la eficiencia del conjunto de elementos que constituye un almacén automático. Por último, se repasan las últimas investigaciones tratando de identificar las líneas de investigación en curso y las posibles mejoras que tengan lugar en el futuro.

ABSTRACT

This article aims to compare the evolution and status of automated warehouses into industrial level. From a historical remark the main research on this type of stores are related, mainly based on algorithms for solving goals, in order to improve the efficiency of all elements that constitute an automatic warehouse. Finally the latest research, trying to identify the research in progress and any improvements occur in the future, are reviewed.

PALABRAS CLAVE

Almacén, automático, investigación, algoritmo, eficiencia.

KEY WORDS

Warehouse, automated, research, algorithms, efficiency

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de almacenamiento automático han ganado interés con el paso de los años, como dice Chen [1], las cadenas de suministro (Supply Chain Management) han tendido a la organización en función de la demanda desde los años 80, hasta que hoy en día no se puede concebir de otro modo. Esta organización sugiere mayor variedad de productos, pedidos de pequeño tamaño y tiempos de respuesta cortos a lo largo de la cadena para permitir estrategias con un lead time reducido al máximo. Es por ello que la tendencia del mercado ha terminado influyendo notablemente en la gestión del almacén, afectando a la lotificación de las órdenes internas.

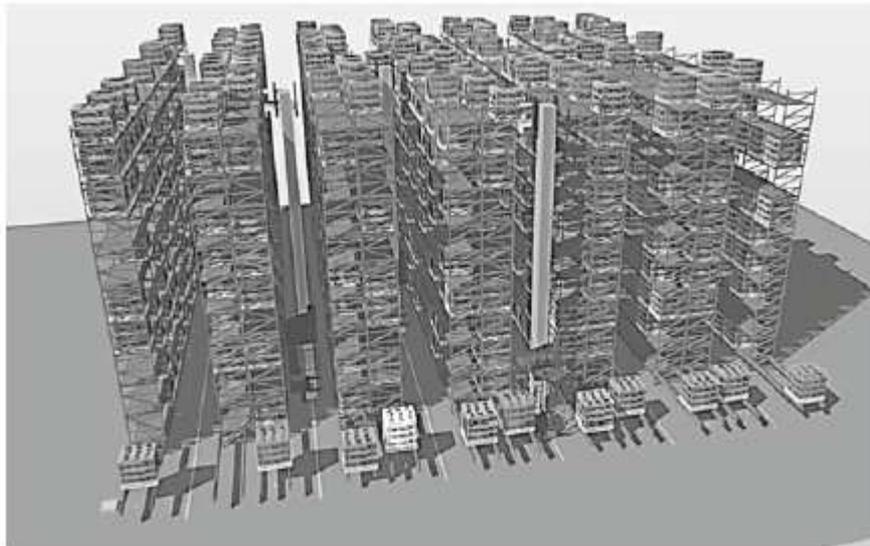


Imagen 3. Almacén automático. Fuente: Gagliardi [2]

Una vez aparentemente resuelta la tipología de almacén, la problemática se centra en la gestión y optimización de los objetivos que anteriormente se han descrito. Si bien parece que el nicho es actuar sobre las órdenes de lotificación, aparecen otros puntos donde los objetivos de optimización entran en conflicto.

DESARROLLO

PRIMEROS PASOS

Los primeros almacenes automáticos, como en la actualidad, tratan de aumentar la fluidez de la gestión de las operaciones que en ellos se acometen, así como de subsanar la precariedad de las actividades que los operarios debían realizar. Es conocido que los almacenes automáticos permiten dar mayor compacidad frente a los convencionales, pero a su vez limita el número de operarios, robots en este caso, que pueden acceder a los pasillos (comúnmente un robot por pasillo). Debido a esto surge una de las mayores líneas de investigación de los almacenes automáticos como es la estimación de costes medios, estimación de tiempos de ciclo y lotificación.

Las primeras investigaciones en busca de la lotificación óptima y el tiempo de ciclo mínimo, primeras problemáticas tratadas, para un almacén automático surgieron a finales del siglo XX, puesto que con anterioridad, las tecnologías y herramientas informáticas no permitían cálculos complejos.

Estos dos conceptos han sido especialmente tratados por Elsayed [3], que desarrollaron algoritmos específicos para optimizar estos problemas. En otras investigaciones se profundiza en estas temáticas llegando a fusionarlas en busca de minimizar los tiempos de viaje mediante las lotificaciones, siempre basándose en reglas heurísticas.

La temática de la automatización de los almacenes engloba a multitud de sectores y no solo a la empresa convencional. Como se ha comentado se tratan temas de costes que dependen de lotificaciones y tiempos de ciclo pero también de distribución en planta, tipología de medios auxiliares o vehículos, etc. Es por ello que se emplee en otros sectores como el portuario, tal y como expone Liu [4].

BASES DE LAS INVESTIGACIONES DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO AUTOMÁTICO

Gracias al progreso informático, acentuado con el paso de los años, se ha permitido pasar del estudio de algoritmos concretos a simulaciones completas de casos fieles a la realidad.

Es en estas líneas es donde se pueden encontrar las primeras y más notables referencias sobre este tema, como en Ashayeri [5], donde se empiezan a tratar algoritmos basados en cálculos geométricos para el tiempo de ciclo, preestableciendo así, determinadas variables como base a mejoras en las investigaciones.

En ocasiones, y costumbre muy común con la llegada masiva de tecnologías a un subsector específico, las mejoras alcanzadas se realizan de forma que permiten la edición por próximos profesionales para que sean capaces de editar las técnicas hasta ese momento empleadas en busca de mejorar o perfeccionar las mismas. La consecuencia de ello es el uso de reglas heurísticas o algoritmos existentes para la mejora de los rendimientos de almacenes automáticos a partir de pequeñas modificaciones en las restricciones o variables de entrada.

Realizando un inciso en lo que se refiere a las lotificaciones en almacenes automáticos, existen dos modelos desde el punto de vista más simple, que se basan en el tamaño de lote EOQ, como se contempla en Gallego [6]. El modelo táctico basado en fijar y coordinar los tamaños de lote en busca de minimizar los órdenes sobre el inventario y los costes del transporte y por otro lado, el modelo estratégico tiene el objetivo de establecer y coordinar los tamaños para minimizar el coste medio (incluyendo coste de pedido, inventario y por el uso de recursos en situaciones de máxima demanda).

Aparecen multitud de variables, además de las ya comentadas en el apartado de introducción, como el nivel de servicio al cliente, tareas de reposición, picos de demanda y políticas de empresa entre otros. Todo ello induce la necesidad de resoluciones más complejas que permitan un análisis multi-objetivo como desarrolla Poulos [7], donde se busca la solución al problema con un algoritmo óptimo de Pareto en los casos de la distribución dentro del almacén. Sin duda alguna, la mayor problemática generada es entorno a la lotificación de las órdenes donde su optimización se puede hacer en base a distintos criterios, a priori contrarios entre sí, como la adaptación a la demanda del cliente o a la reducción de costes operativos.

Por último, se pueden encontrar investigaciones relacionadas con la simulación bajo hipótesis varias. Como publica Van den Berg [8], existen algoritmos en la simulación que además de las hipótesis, tienen en cuenta la secuenciación de almacenaje y recuperación junto al rendimiento del almacén.

TENDENCIAS

Las nuevas tendencias en el ámbito de estudio sobre almacenes automáticos, están sobre todo orientados a obtener una mejor distribución de los productos o configuraciones del diseño geométrico de almacenes (pasillos, alturas...) y no dirigidos a la implementación de nuevos avances tecnológicos o entelequias futuristas.

El concepto de valor y sus implicaciones, hace comprensible que la línea de investigación más fuerte sobre la automatización de almacenes, lleve una dirección muy enfocada a la configuración de la forma del propio almacén, así como de la distribución de los productos que en ellos se encuentran. El aumento de eficiencia en los almacenes está relacionado con la reducción del tiempo en los movimientos y por tanto en las distancias a recorrer para almacenar o sacar un producto del propio almacén.

DISTRIBUCIÓN DE LOS PRODUCTOS.

Con el objetivo de reducir las distancias, múltiples autores han generado diversos métodos de asignación de espacios automático para los productos dependiendo de sus propiedades.

Un ejemplo de ello es el planteado por Fontana [9] donde se puede ver descrito un método de determinación de la mejor localización de productos en almacenes. Éste, es un método

dinámico, es decir, permite evaluar el sistema continuamente y lanzar alternativas con los cambios de las preferencias del decisor.

Qin [10] aborda el tema de la distribución, esta vez desde el uso de algoritmos genéticos para resolver el problema multiobjetivo, pudiendo realizar planificaciones de distribuciones a través de filas columnas y capas de almacenes.

DISTRIBUCIÓN DE ESPACIOS.

Con el mismo fin, Ozturkoglu [11] aborda la distribución de espacios. En él se aborda la posibilidad de, a los ya existentes pasillos perpendiculares, sumar pasillos diagonales en almacenes de varias salidas. Gagliardi [2] estudia la geometría, pero esta vez basada en el diseño flexible de estructuras de múltiples pasillos, capaces de acomodarse a condiciones reales.

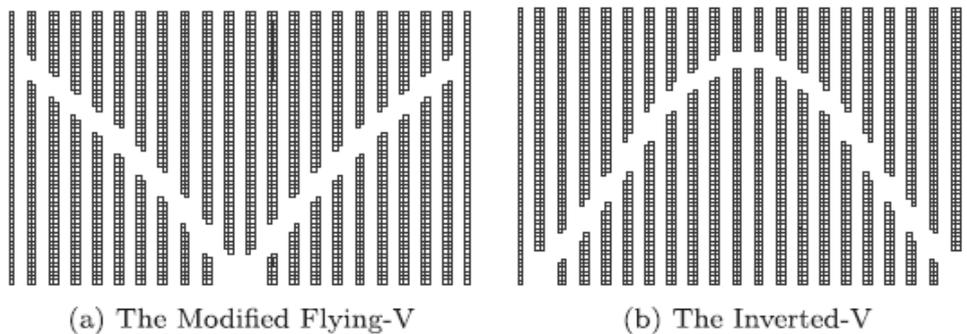


Imagen 1. Distribución con pasillos diagonales. **Fuente:** Ozturkoglu [11]

En la misma línea, se encuentra el artículo de Chou [12], en el que podemos ver el diseño de la configuración de almacenes con demanda recurrente, como puede ser una biblioteca. Este artículo aporta una solución a todos los almacenes en los que después del uso de un producto este vuelve a ser almacenado.

SISTEMAS DE MANTENIMIENTO

Obviamente, no solo el desplazamiento supone un problema y como se ha indicado es una pérdida de valor. También las esperas dentro del propio almacén automático se engloban dentro de este grupo. En almacenes con gran cantidad de movimientos, puede suceder que una de las vías para acceder a uno artículo se encuentre ocupada por alguno de los diversos sistemas de mantenimiento que pueden acoger un almacén.

Para solucionar y reducir el tiempo de espera de los sistemas de mantenimiento, Ekren [13] estudia la solución de redes de colas de sistemas de almacenamiento. Con una comparativa entre sistemas, podemos ver las propiedades de un sistema convencional consistente en grúas y un sistema constituido por vehículos autónomos.

Continuando con la comparativa anterior, Heragu [14] genera un modelo analítico implementado en una herramienta, capaz de calcular el rendimiento de ambos sistemas, que permite su rápida evaluación.

ELEMENTOS DE UNIÓN ENTRE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO Y PICKING

Siguiendo con el tema de los sistemas de mantenimiento, la unión de sistemas de almacenamiento y picking, supone un problema que se ha tratado de solucionar y optimizar.

Basile [15, 16] propone un sistema que relaciona un almacén automatizado con grúas en sus pasillos con una zona de picking. El sistema consiste en carruseles transportadores que conecte ambas zonas. El artículo trata de la generación de sistema que optimice este tipo de modelos híbridos, en los que los operarios no acceden al almacén, usando redes de Petri.

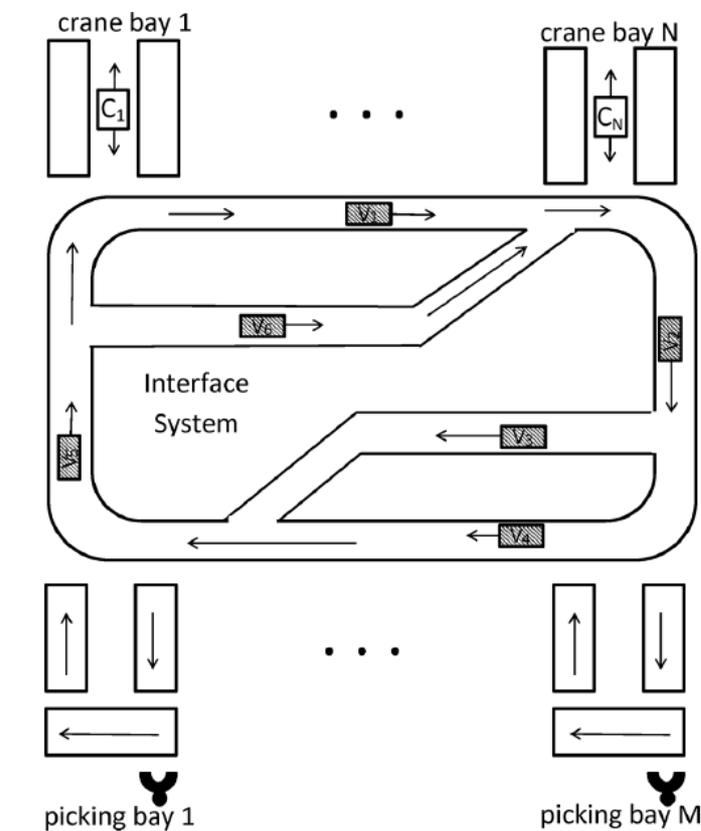


Imagen 2. Elemento de unión entre sistemas. **Fuente:** artículo Basile [15]

Erdogan [17] hace referencia a un sistema que conecta almacenes automáticos con zonas de picking, en este artículo, de forma mucho más concreta. En él, se analiza un sistema de manutención usando 2 robots en un rail, con 2 Almacenes distintos. El objetivo es encontrar un algoritmo que logre minimizar el tiempo de las tareas, evitando al mismo tiempo las colisiones entre los robots.

NUEVAS TECNOLOGÍAS

Por último hacer referencia, como anteriormente se ha comentado, a la escasa proliferación de artículos relacionados con nuevas tecnologías que pudiesen implementarse a los almacenes automatizados. Wang [18] es uno de los pocos que realmente lo aplica. En el artículo se describe las ventajas de la implantación de un sistema de gestión basado en el control de dispositivos colocándolos en los productos a almacenar.

CONCLUSIONES

La principal problemática de los almacenes automáticos es la optimización del funcionamiento, ya que el objetivo en el que se desee focalizar la optimización del sistema influirá sobre el resto de variables, de ahí, que en ocasiones se recurra a algoritmos o simulaciones multi criterio.

También se aprecia que las bases de la automatización de almacenes se basan en algoritmos que mayoritariamente buscan la optimización de la lotificación de las órdenes de almacenaje y recuperación, así como minimizar los tiempos de viaje, que en consecuencia, minimizarán el coste de transporte dentro del almacén automático.

Como se ha podido ver a lo largo del presente artículo, la disposición de los diversos productos y la forma de los almacenes son las principales preocupaciones, motivada por la necesidad de generar una flexibilidad en las posibilidades que permita la constante adaptación del modelo de almacenaje a la demanda. Con el fin de conseguir este objetivo, se ha podido corroborar la proliferación de múltiples modelos que tratan de encontrar la solución óptima para cada situación particular.

REFERENCIAS

1. Chen, M.C. and H.P. Wu, *An association-based clustering approach to order batching considering customer demand patterns*. Omega-International Journal of Management Science, 2005. **33**(4): p. 333-343.
2. Gagliardi, J.-P., J. Renaud, and A. Ruiz, *A simulation modeling framework for multiple-aisle automated storage and retrieval systems*. Journal of Intelligent Manufacturing, 2014. **25**(1): p. 193-207.
3. Elsayed, E.A. and O.I. Unal, *ORDER BATCHING ALGORITHMS AND TRAVEL-TIME ESTIMATION FOR AUTOMATED STORAGE-RETRIEVAL SYSTEMS*. International Journal of Production Research, 1989. **27**(7): p. 1097-1114.
4. Liu, C.I., H. Jula, and P.A. Ioannou, *Design, simulation, and evaluation of automated container terminals*. Ieee Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2002. **3**(1): p. 12-26.
5. Ashayeri, J., et al., *A geometrical approach to computing expected cycle times for zone-based storage layouts in AS/RS*. International Journal of Production Research, 2002. **40**(17): p. 4467-4483.
6. Gallego, G., M. Queyranne, and D. SimchiLevi, *Single resource multi-item inventory systems*. Operations Research, 1996. **44**(4): p. 580-595.
7. Poulos, P.N., et al., *A Pareto-optimal genetic algorithm for warehouse multi-objective optimization*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2001. **14**(6): p. 737-749.
8. Van den Berg, J.P. and A. Gademann, *Simulation study of an automated storage/retrieval system*. International Journal of Production Research, 2000. **38**(6): p. 1339-1356.
9. Fontana, M.E. and C.A. Virginio Cavalcante, *Use of Promethee method to determine the best alternative for warehouse storage location assignment*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014. **70**(9-12): p. 1615-1624.
10. Qin, G., et al., *Warehouse Optimization Model Based on Genetic Algorithm*. Mathematical Problems in Engineering, 2013.
11. Ozturkoglu, O., K.R. Gue, and R.D. Meller, *A constructive aisle design model for unit-load warehouses with multiple pickup and deposit points*. European Journal of Operational Research, 2014. **236**(1): p. 382-394.
12. Chou, Y.-C., Y.-H. Chen, and H.-M. Chen, *Recency-based storage assignment and warehouse configuration for recurrent demands*. Computers & Industrial Engineering, 2012. **62**(4): p. 880-889.

13. Ekren, B.Y., et al., *Matrix-geometric solution for semi-open queuing network model of autonomous vehicle storage and retrieval system*. Computers & Industrial Engineering, 2014. **68**: p. 78-86.
14. Heragu, S.S., et al., *Analytical models for analysis of automated warehouse material handling systems*. International Journal of Production Research, 2011. **49**(22): p. 6833-6861.
15. Basile, F., P. Chiacchio, and J. Coppola, *A Hybrid Model of Complex Automated Warehouse Systems-Part I: Modeling and Simulation*. Ieee Transactions on Automation Science and Engineering, 2012. **9**(4): p. 640-653.
16. Basile, F., P. Chiacchio, and J. Coppola, *A Hybrid Model of Complex Automated Warehouse Systems-Part II: Analysis and Experimental Results*. Ieee Transactions on Automation Science and Engineering, 2012. **9**(4): p. 654-668.
17. Erdogan, G., M. Battarra, and G. Laporte, *Scheduling twin robots on a line*. Naval Research Logistics, 2014. **61**(2): p. 119-130.
18. Wang, Q., R. McIntosh, and M. Brain, *A new-generation automated warehousing capability*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2010. **23**(6): p. 565-573.