

Mejora en el rendimiento de un centro de distribución a través del rediseño del sistema de preparación de pedidos: Estudio de caso

Ander Errasti¹, Claudia Chackelson¹, Carmen Jaca¹

¹Departamento de Organización Industrial. Escuela de Ingenieros. TECNUN. Universidad de Navarra. Paseo de Manuel Lardizabal, Nº13 20.018 Donostia - San Sebastián. aerrasti@ceit.es, cchackelson@tecnun.es, cjaca@tecnun.es

Resumen

La preparación de pedidos es clave para mejorar la calidad de servicio y reducir los costes operativos. El rediseño de almacenes requiere, una vez identificadas las necesidades, la elección de las operativas más adecuadas para la preparación de pedidos. El presente trabajo se focaliza, dentro de dicho proceso de rediseño, en la selección de equipos, planteándose almacenes híbridos automático/manuales. A través de un estudio de caso donde los investigadores han estado involucrados, se demuestra que una metodología de diseño de almacenes adaptada y el uso del Diseño de Experimentos (DoE) ayudan a mejorar la productividad de un Centro de Distribución.

Palabras clave: Diseño de almacenes, sistema híbrido, preparación de pedidos, estudio de caso, Diseño de Experimentos

1. Introducción

La preparación de pedidos, proceso de recuperación de los artículos de la zona de almacenamiento en respuesta a la solicitud de un cliente, ha sido identificada como un proceso crítico por su alto impacto sobre los costos operativos, así como por su repercusión en la calidad de los pedidos (Tompkins 2003, De Koster 2007). Durante el proceso de diseño, los Centros de Distribución (CD) de diversos sectores han optado por la adopción de sistemas de almacenaje y extracción automáticos (AS/RS) y/o sistemas Miniload AS/RS.

Dicha instalación implica múltiples beneficios, incluyendo reducción de costos operativos en la preparación de pedidos, mejora del flujo de materiales y del control del inventario, incremento de rendimiento, aumento de la seguridad y de la rotación de stock (Lee Y. 1999, Allen S 1992, De Weerd L 1991, Forger G 1991, Bozer and White 1984).

La principal desventaja de estos sistemas de manutención automáticos es su elevado precio de adquisición. Con frecuencia, la inversión se ve condicionada a necesitar el almacenaje de grandes cantidades de inventarios y/o requerir la manutención de grandes flujos de materiales. Estos costos incluyen maquinaria, construcción, software y hardware, y gastos en capacitación del personal (Sarker, 1995).

Por este motivo, en ocasiones, los AS/RS son adoptados de manera parcial o como parte de un sistema o solución híbrida, debido a que un único método de almacenaje y extracción puede no ser adecuado para todas las referencias almacenadas, ni para todos los flujos logísticos (ejemplo cross-docking).

Aún cuando estos sistemas híbridos automático/manuales con múltiples zonas son propuestos como alternativa por los diseñadores de almacenes, la mayor parte de la literatura relacionada pone foco en otros problemas operacionales. Las principales contribuciones se han realizado en sistemas manuales o automáticos, sin embargo, la preparación de pedidos no ha sido estudiada en profundidad a la hora de diseñar un sistema híbrido, considerando el rendimiento del sistema general y de los subsistemas (Bryzner and Johansson 1995, Le Duc and De Koster 2005, Jane 2000, Tang and Chew 1997, Chew and Tang 1999, Le Duc and De Koster 2007).

De Koster (2007), dentro de su marco para el diseño de almacenes, enfatiza la importancia de considerar simultáneamente todos los factores (lay out, zonificación, gestión de ubicaciones, lotificación, clasificación de pedidos) para lograr mejorar el rendimiento global.

En este contexto, este trabajo explora el rediseño del almacén un CD en su totalidad, tomando en consideración las tres etapas de la metodología de diseño propuesta por Baker (2007) (ver Figura 1), para finalmente focalizar el análisis en la optimización de un sistema híbrido de preparación de pedidos. En esta etapa final se hará uso del Diseño de Experimentos como herramienta para determinar la configuración que maximiza el rendimiento del almacén.

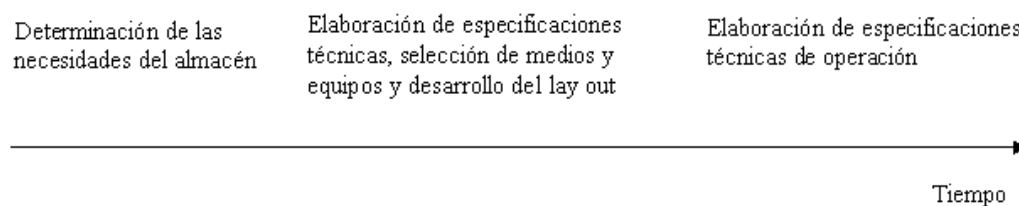


Figura 14. Etapas de la metodología de diseño de almacenes propuesta por Baker (2007), adaptación

2. Objetivo

Como objetivo principal, este trabajo pretende mejorar el rendimiento del almacén en un CD a través del rediseño de la preparación de pedidos, una vez seleccionado un sistema híbrido automático/manual, mediante el soporte de un método de diseño de almacenes.

Por otra parte se buscará alcanzar los siguientes objetivos parciales:

- Demostrar la utilidad del Diseño de Experimentos en el rediseño de almacenes, aplicándolo a su proceso clave: la preparación de pedidos
- Implantar el sistema optimizado en un caso real, y comprobar su efectividad mediante la definición de una serie de indicadores de rendimiento.

3. Metodología de investigación

La metodología investigadora empleada se basa en un estudio de caso (Yin 1994), en el cual los investigadores han estado involucrados en su desarrollo. Es la denominada Experimentación Activa (Action Research) que puede ser utilizada para investigar con diferentes propósitos, construcción de una teoría, comprobación de una teoría o extensión de una teoría (Westbrook 1995, Vignalli C.2003). Esta metodología fue seleccionada por su orientación práctica y su aplicabilidad en iniciativas para verificar hipótesis basadas en la experimentación.

En dicho estudio se ha desarrollado un proyecto de reingeniería en un almacén distribuidor de ámbito nacional adaptando la metodología de diseño de almacenes propuesta por Baker (2007) (ver Figura 1). Durante la tercera etapa se ha utilizado el Diseño de Experimentos, haciendo posible contemplar diversas posibilidades de manera simultánea. Se seleccionó esta técnica debido a su menor consumo de recursos frente a otras estrategias de experimentación (un factor a la vez, ensayo y error) para obtener la misma cantidad de información. Adicionalmente permite ver no sólo el impacto de los factores considerados sobre la respuesta, sino también la existencia de relaciones entre los primeros. (Tanco, 2008). Asimismo, se ha demostrado en estudios anteriores que el DoE es útil a la hora de diseñar procesos/productos (Bhote 2000, Czitrom 1997)

4. Metodología de diseño de almacenes

Se ha hecho principal hincapié en la tarea de diseño del sistema de almacenaje y preparación de pedidos detallada en la metodología de Baker 2007 (ver Tabla 1), debido a su significativa repercusión en los costos operativos de la preparación de pedidos y en la satisfacción del cliente. El rediseño ha contemplado variables que conforman este sistema (lotificación, zonificación, políticas de clasificación), buscando determinar la configuración que minimizara el tiempo total de la preparación.

Tabla 2 .Metodología de diseño de almacenes propuesta por Baker (2007), adaptada

Etapas	Tareas
Determinación de las necesidades del almacén	Identificar las funciones del almacén
	Establecer unidades de carga y morfología de productos
	Análisis de flujos de mercancía
	Determinación de niveles de inventario
	Pronosticar y analizar la demanda futura
Elaboración de especificaciones técnicas, selección de los medios y equipos y desarrollo del lay out	Postular procesos y sistemas operativos
	Considerar tipos de equipos y características
	Evaluar tipos de equipos y necesidad de personal
	Dividir en áreas y establecer el lay out general y bosquejar posibles layout
	Calcular el espacio necesario (estático y dinámico)
Elaboración de especificaciones técnicas operativas del amacén	Calcular costos fijos y de operación
	Diseñar sistemas de almacenaje y preparación de pedidos
	Evaluar rendimiento esperado
	Adjudicar especificaciones del sistema
	Evaluar diseño vs. requerimientos

5. Desarrollo del estudio de caso según la metodología de diseño de almacenes

Se describirán a continuación las tres etapas mostradas en la Tabla 1.

5.1 Etapa 1: Determinación de las necesidades del almacén

Para la determinación de necesidades, las funciones del almacén, las unidades de carga, la morfología de los productos, los flujos de mercancía y los niveles de inventario se han analizado durante un año. Asimismo, el stock promedio de los productos y la complejidad de los pedidos también han sido considerados durante el mismo período de tiempo.

5.2 Etapa 2: Elaboración de las especificaciones técnicas, selección de los medios y equipos y desarrollo del lay out

Se han considerado las siguientes alternativas:

- Sistema Operario a Producto de estanterías convencionales
- Sistema Producto a Operario con Miniload AS/RS
- Sistema Producto a Operario con elevadores verticales (Megalift)

Para seleccionar la mejor opción, los costes fijos y variables de cada alternativa han sido calculados, así como también la superficie necesaria y el tiempo dedicado a la preparación (ver Tabla 2)

Tabla 3. Comparación de sistemas

Sistema de almacenaje	Superficie (m2)	Costo superficie €	Inversión €	Coste fijo €	Eficiencia productiva		Incremento respecto Miniload (horas)	Coste variable relativo (€/año)
					Tiempo de entradas (horas)	Tiempo de salidas (horas)		
Miniload	x	16%	33%	28%	1,2	2,1	0,0	0%
Megalift	1,95x	32%	59%	51%	3	5,1	4,8	39%
Convencional	3,21x	52%	8%	21%	4	6,8	7,5	61%

Para aquellos productos cuya complejidad de preparación fuera elevada, tanto en líneas de pedido como en cantidades, el Miniload ha sido la opción elegida, mientras que para el resto de los productos ha sido seleccionado el sistema convencional de estanterías.

El diseño del layout se realizó considerando tanto la parte automática como la manual y agregando áreas específicas para la recepción, el empaquetado, el acondicionamiento y la carga (ver Figura 2).

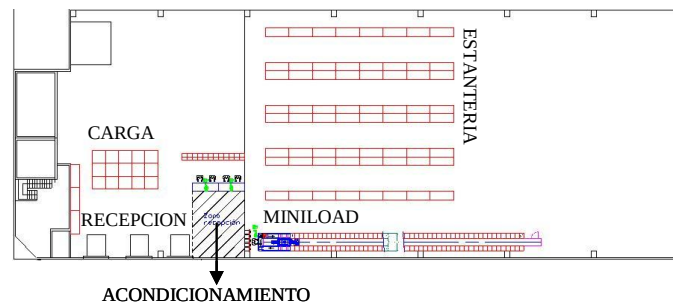


Figura 15. Lay out

5.3 Etapa 3: Elaboración de especificaciones técnicas de operación

Se deben considerar las dos zonas de almacenamiento en conjunto (Miniload y estanterías), a pesar de sus diferencias en cuanto a nivel de automatización.

Por otra parte en cada una de estas dos zonas se pueden establecer diferentes políticas de operación en la preparación de pedidos:

- Las líneas de pedido pueden ser agrupadas en lotes (*batch*) o por el contrario, pueden realizarse una a una, pedido a pedido.
- En el sistema de estanterías convencionales pueden diferenciarse dos zonas, una de reserva y una de preparación diaria, o simplemente contar con una única área de almacenaje.
- La clasificación puede realizarse a medida que se realiza la extracción (*sort while pick*) o al finalizarse el lote o agrupación de líneas de pedido (*pick and sort*).

Para el DoE se ha llevado a cabo un diseño factorial completo 2^4 , o sea, se han contemplado todas las posibles combinaciones de las políticas señaladas (ver Figura 3), para identificar cual de ellas lograba minimizar el tiempo total de preparación.

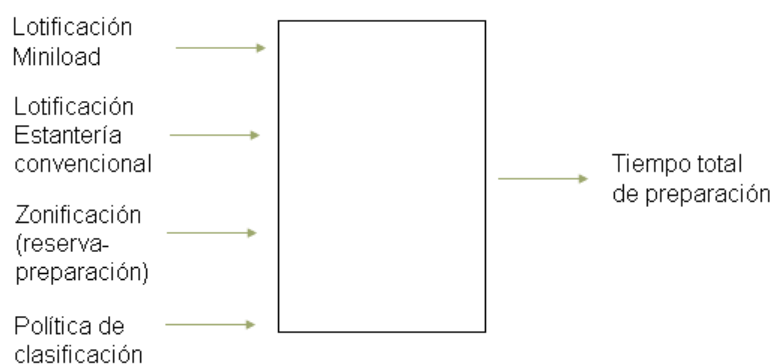


Figura 16. Factores y respuesta considerados en el Diseño de Experimentos

Los niveles considerados para los diferentes factores se encuentran detallados en la Tabla 3

Tabla 4. Niveles de los factores considerados en el Diseño de Experimentos

Nivel	Lotificación Miniload	Lotificación Estantería convencional	Zonificación (reserva-preparación)	Política de clasificación
-1	Orden a orden	Orden a orden	Única zona	Extraer y luego clasificar
1	Lote de 4 órdenes	Lote de 4 órdenes	Zona reserva y zona preparación	Clasificar durante la extracción

Durante la experimentación se han medido los horas de trabajo dedicadas a cada actividad y a todo el ciclo de preparación de pedidos (ver Tabla 4).

Tabla 5. Matriz de diseño y resultados obtenidos en cada experimentación.

Lotificación Miniload	Lotificación Estantería	Zonificación Estantería	Clasificación de pedidos	Extracción Estantería (horas)	Extracción Miniload (horas)	Clasificación de pedidos (horas)	Tiempo total de preparación (horas)
-1	-1	-1	-1	20	10	1	31
1	-1	-1	-1	20	9	1,5	30,5
-1	1	-1	-1	17	10	2	29
1	1	-1	-1	17	9	3,5	29,5
-1	-1	1	-1	20	10	1	31
1	-1	1	-1	20	9	1,5	30,5
-1	1	1	-1	16	10	2	28
1	1	1	-1	16	9	3,5	28,5
-1	-1	-1	1	19	9	1	29
1	-1	-1	1	19	8	1,5	28,5
-1	1	-1	1	16	9	2	27
1	1	-1	1	16	8	3,5	27,5
-1	-1	1	1	18	9	1	28
1	-1	1	1	18	8	1,5	27,5
-1	1	1	1	15	9	2	26
1	1	1	1	15	8	3,5	26,5

Los tiempos obtenidos de la experimentación han sido estudiados utilizando el software de análisis de datos Minitab, y considerando un p-valor igual a 0.05, un análisis ANOVA se ha llevado a cabo para identificar los efectos significativos y determinar los niveles de cada factor que minimizan el tiempo total de preparación.

6. Indicadores

Para lograr cuantificar las mejoras obtenidas a partir de la implantación de los equipamientos seleccionados y el diseño de las operativas de preparación de pedidos, es necesario convenir el concepto de rendimiento, así como también una serie de indicadores para su medición.

Por incremento del rendimiento del sistema de preparación de pedidos se entiende mejorar el nivel de servicio brindado al cliente en términos de cumplimiento de plazos de entrega, integridad y exactitud en el pedido, así como también reducción del costo total (Goetschalckx y Ashayeri 1989, Errasti 2007, Baker 2009).

Se han escogido algunos de los indicadores de rendimiento claves (KPIs) propuestos por Frazelle (2002) para registrar las mejoras alcanzadas como resultado del proceso de rediseño. Los mismos se listan a continuación:

- Costo de preparación de pedidos por línea de pedido (Financiero)
- Cantidad de líneas preparadas por hora (Productividad)
- Utilización de la superficie y de los equipos (Utilización)
- Cantidad de líneas de preparación perfectas (Calidad)
- Tiempo necesario para completar el ciclo de preparación (Tiempo del ciclo)

7. Resultados

Los resultados obtenidos una vez identificadas las necesidades en las primeras etapas el método de Baker (2007) son:

- Miniload para almacenar productos con complejidad de preparación elevada
- Sistema convencional de estanterías para el resto de los productos

Adicionalmente el layout diseñado contempla ambas zonas (automática y manual) incorporando áreas específicas para la recepción, el empaquetado, el acondicionamiento y la carga.

En la tercera etapa, con soporte del Diseño de Experimentos, se ha constatado que el conjunto de operativas de preparación de pedidos que minimizan el tiempo de preparación es el siguiente:

- Extracción agrupada (lotes) en el sistema de estanterías convencionales
- Extracción agrupada (lotes) en el Miniload AS/RS
- Zonificación en área de reserva y área de preparación para referencias con altos consumos en el sistema de estanterías convencionales
- Clasificación en pedidos a medida que extraen en forma agrupada los productos de sus respectivas ubicación (*sort while pick*)

Con los indicadores seleccionados se han medido las mejoras obtenidas tras la implantación de dichas operativas de preparación de pedidos, en conjunto con el nuevo layout y los equipos y medios seleccionados. Los resultados han sido los siguientes:

- Reducción de un 23% del costo de operación en el sistema de estanterías convencionales debido a la clasificación de las órdenes durante el proceso de extracción, a la lotificación y a la zonificación (reserva – preparación) para productos con gran volumen de consumo.
- Reducción de un 18% del costo de operación en la zona de preparación automática (Miniload) gracias a la lotificación y a una estrategia de clasificación de órdenes durante la extracción basada en un sistema lumínico (*put to light*)
- Aumento de la productividad en un 20% al reducir el número de viajes debido a la extracción agrupada o en lotes.
- Reducción de la necesidad de espacio para dedicar al almacenaje y a la preparación en un 30%
- Eliminación del 45% de errores de sustitución gracias al sistema *put to light* en la zona de consolidación
- Reducción del tiempo global de preparación de pedidos en más de un 16%

8. Conclusiones

El análisis global del sistema híbrido automático/manual de preparación de pedidos ha permitido mejorar el rendimiento del almacén distribuidor en términos costos, productividad, utilización de recursos, calidad y tiempos.

Los objetivos parciales de este estudio se han alcanzado con éxito, demostrando que el Diseño de Experimentos resulta útil para el rediseño de la preparación de pedidos en la tercera etapa de diseño de almacenes, optimizando en conjunto la zona automática y la manual y contribuyendo así un mejor desempeño general. Adicionalmente se implantó el proceso en un CD real, con resultados altamente favorables.

Referencias

- Allen, S. L. A selection guide to AS/R systems. *Industrial Engineering*, March 1992, 28.
- Baker Peter, Halim Zaheed, An exploration of warehouse automation implementations: cost, service and flexibility issues, *Supply Chain Management: An International Journal*. Volume: 12, Number: 2, 2007, pp: 129-138
- Baker Peter, Canessa Marco, Warehouse design: A structured approach, *European Journal of Operational Research* 193 425-436 (2009)
- Bhote, K.R. and Bhote, A. K, *Word Class Quality. Using the Design of Experiments to make it happen*. 2nd Edition. 2000, New York: Amacom.
- Bozer, Y. A. and White, J. A., 1984, Travel-time models for Automated Storage/Retrieval Systems. *IIE Transactions*, 16, 329-338
- Brynzer, H., Johansson, M.I., 1995. Design and performance of kitting and order picking systems. *International Journal of Production Economics* 41, 115-125
- Chew E.P., Tang, L.C., 1999. Travel time analysis for general item location assignment in a rectangular warehouse. *European Journal of Operational Research* 112, 582-597
- Czitrom V and Spagon P. D, *Statistical Case Studies for Industrial Process Improvement ASA-SIAM on Statistics and Applied Probability* 1997, United States of America: ASA-SIAM. 514.
- De Koster Tho Le-Duc, Kees Jan Roodbergen, 2007 Design and control of warehouse order picking: A literature review, *European Journal of Operational Research* 182 (2007) 481-501
- DeWeerd, L. Productivity gains through AS/RS retrofit. *Production & Inventory Management*, September 1991, 29
- Errasti A., Proyecto OPP Optimización Preparación de Pedidos, Cluster de Transporte y Logística de Euskadi, diciembre 2007
- Forger, G. How Ford cuts order picking cycles 60% with centralized storage. *Modern Material Handling*, May 1991, 52
- Frazelle 2002 Frazelle, E, *World-Class Warehousing and Material Handling*, McGraw-Hill, New York, 2002
- Goetschalckx, M, Ashayeri, J, 1989. Classification and design of order picking systems. *Logistics World* (June), 99-106
- Jane, C.C., 2000. Storage location assignment in a distribution centre. *International Journal of Physical and Logistics Management* 30 (1), 55-71

- Le-Duc, T., De Koster, R., 2005. Determining the optimal number of zones in a pick-and-pack order picking system. Report ERS-2005-029-LIS, RSM Erasmus University, the Netherlands.
- Le-Duc, T., De Koster, R., 2007. Travel time estimation and order batching in a 2-block warehouse. *European Journal of Operational Research* 176 (1), 374–388
- Lee Y. H., Tanchoco J. M. A and Chun S. J., Performance estimation for AS/RS with unequal sized cells, *INT. J. PROD. RES.*, 1999 vol 37, nº18, 4197-4216
- Sarker Bhaba R., Babu P. Sobhan, Travel time models in automated storage/retrieval systems: A critical review, *Int. J. Production Economics* 40 (1995) 173-184
- Tanco Martín, 2008. Metodología para la aplicación del Diseño de Experimentos (DoE) en la industria, tesis doctoral, Tecnun. Universidad de Navarra, España.
- Tang, L.C., Chew, E.P., 1997. Order picking systems: batching and storage assignment strategies. *Computer & Industrial Engineering* 33 (3), 817–820
- Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., Frazelle, E.H., Tanchoco, J.M.A., 2003. *Facilities Planning*, John Wiley & Sons, NJ
- Vignalli C. The marketing management process and heuristic devices: an action research investigation. *Market Intelligence Plann* 2003; 21(4), 205–19
- Westbrook Roy. Action research: a new paradigm for research in production and operations management. *Int J Operat Product Manage* 1995; 15(12), 6–20
- Yin R.K., 1994, *Case study research Design and Methods*, SAGE Publications, Inc