

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE PICKING PRODUCTO A OPERARIO. Aplicación del Diseño de Experimentos mediante simulación de Eventos Discretos



Claudia Chackelson-Lurner  
Ander Errasti-Opacua  
David Cipres-Bagüeste  
Fernando Lahoz-Leo

Ingeniera Industrial  
Dr. Ingeniero Industrial  
Ingeniero Industrial  
Lcdo. en Ingeniería Industrial

TECNUN. Dpto. Organización Industrial. Paseo de Manuel Lardizabal, 13 – 20018 San Sebastián.  
Tfno: +34 943 219877. cchackelson@tecnun.es

Recibido: 28/01/2011 • Aceptado: 09/03/2011

## Design of a Parts to Picker System. Design of Experiments application aided by Discrete Event Simulation

### ABSTRACT

#### • Introduction:

Order picking is warehouse' key activity due to its impact on operation costs and service level, and an appropriate design will affect directly global performance. This paper evaluates the repercussion that different picking operating strategies have in a Part to Picker system while working under diverse order's types.

#### Methods and materials:

With this aim in mind, a Design of Experiment tool, based on the Define, Measure and Analyze phases of Six Sigma DMAIC approach, has been used. The experiments have been carried out basing on a simulation model that reproduces an automatic warehouse with a Miniload.

#### Results:

As a result of an analysis of variance ANOVA, the principal effects and interactions were identified.

• **Keywords:** picking, design of experiments, discrete event simulation.

### RESUMEN

#### Introducción:

La preparación de pedidos es una actividad clave dentro del almacén debido a su alto impacto en los costes operativos y en la calidad del servicio, por lo que un diseño correcto repercutirá directamente en el rendimiento global. El presente artículo evalúa el impacto que tiene sobre el tiempo total de preparación la elección de diferentes estrategias de operativa y organización en un sistema Producto a Operario, operando bajo variadas tipologías de pedidos.

#### Materiales y métodos:

Para ello se ha empleado el Diseño de Experimentos como herramienta, cuyas secuencia de actividades se ha basado en una adaptación de las etapas Definir, Medir y Analizar de la metodología de Seis Sigma DMAIC. Los experimentos han sido llevados a cabo en un modelo de simulación basado en un almacén automático compuesto por un sistema Miniload.

#### Resultados:

Se han identificado los efectos principales y las interacciones más significativas que influyen en la respuesta a partir de un análisis de varianza ANOVA.

**Palabras clave:** preparación de pedidos, diseño de experimentos, simulación de eventos discretos.

### 1. INTRODUCCIÓN

La preparación de pedidos o *picking* es el proceso de recuperación de los artículos de la zona de almacenamiento en respuesta a la solicitud de un cliente. Esta actividad tiene un alto impacto sobre la calidad de los pedidos, así como también una elevada contribución a los costes operativos según lo señalado por De Koster [1] y Tompkins [2], por lo que un correcto diseño es de suma importancia.

Las tendencias más recientes en las áreas de producción y distribución están haciendo que el diseño y la gestión del *picking* haya cobrado aún un papel más relevante y su complejidad se haya visto incrementada [1]. Entre los elementos que están contribuyendo a la dificultad de realización de esta actividad se destacan: la diversificación de clientes y gama de productos, el aumento del número de pedidos junto con la reducción de las cantidades por pedido, un mayor nivel de personalización de los pedidos y la reducción de unidades mínimas de servicio [3].

A la hora de diseñar un sistema de preparación de pedidos, de acuerdo con lo expuesto por Goetschackx [4], los factores que deben tenerse en cuenta pueden clasificarse en: *características del sistema* por un lado, y *políticas de operación y organización* por el otro. Dentro del primer grupo se encuentran factores tales como el grado de automatización y la dimensión del sistema, mientras que en el segundo grupo se distinguen la zonificación, el modo de lanzamiento de los pedidos, la lotificación y el almacenamiento (ver Figura 1).

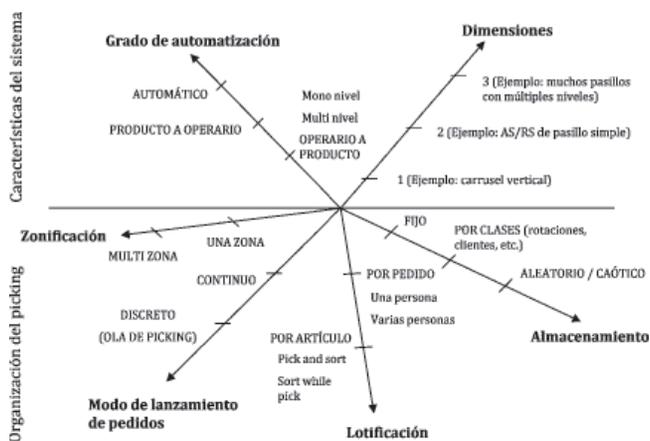


Fig. 1: Factores de diseño en sistemas de preparación de pedidos, diagrama de Goetschackx and Ashayeri, 1989, modificado

Comenzando por el grado de automatización del almacén, se irán describiendo las diferentes opciones que aparecen en la Fig. 1 en sentido anti horario. Se puede hacer una primera clasificación en función del grado de automatización del proceso, en Sistemas Automáticos, Sistemas Producto a Operario y Sistemas Operario a Producto. El primer grupo de sistemas se caracteriza por la ausencia de participación humana en el proceso de preparación de pedidos. En los otros dos sistemas en cambio, si existe la intervención del personal, en mayor o menor grado. En el caso de una preparación Producto a Operario la mercancía es la que es trasladada hacia la localización del operario mediante sistemas de almacenamiento automático. Por el contrario, en los sistemas Operario a Producto es la persona quien se desplaza con el objeto de recoger los materiales [5]. Dentro de los sistemas Operario a Producto puede distinguirse a su vez una subclasificación según la altura del picking. Ésta se compone de *Picking* mono nivel y *Picking* multi nivel (en altura). Por otro lado, la preparación de pedidos puede ser dividida en función de la zonificación del almacén en Una zona y Multi zona. Si existe una zona única para el almacenamiento de los productos, se está en el primer caso, mientras que, si el almacén está dividido en distintas áreas a las cuales se debe acceder para cumplimentar el pedido se está en presencia de la segunda forma de *picking*. La manera en que son lanzadas las órdenes da lugar a una nueva clasificación: Continuo u Ola de pedido (*wave picking*), donde las órdenes con destinos comunes son lanzadas de manera simultánea [1].

Por otra parte, si el *picking* se realiza pedido a pedido se dice que se realiza en preparación Por Pedidos. Por el contrario, si se realiza una agrupación o “*batch*” de pedidos se considera que la selección se hace Por Artículo [6]. El primer caso puede ser realizado tanto por una única persona como por varias, no comenzando a preparar el siguiente pedido hasta no terminar el anterior. En el segundo caso, el operario puede asignar cada producto al pedido correspondiente a medida que los mismos son extraídos de una ubicación (*sort while pick*) o puede esperar a finalizar todo el recorrido para realizar la clasificación (*pick and sort*) [7, 8].

Otra característica del sistema de preparación de pedidos está vinculada al tipo de almacenamiento empleado. Los métodos de ubicación se clasifican en tres grupos: Asignación fija, Asignación por clases y Asignación caótica.

En el primero de los casos, los nichos o ubicaciones están identificados con el código y/o nombre de artículo de tal manera que una referencia siempre se coloca en el mismo lugar. En los otros dos sistemas, la asignación se realiza una vez recepcionado el producto. Los criterios para establecer la asignación por clases con los cuales se realiza esta ubicación pueden ser diversos, tales como asignación por familias de producto o por nivel de rotación o por clientes. En el tercer caso la asignación es aleatoria [3].

Adicionalmente, en función de las dimensiones de la zona de *picking* puede hacerse una última distinción que define al sistema en función de la cantidad de ejes que se recorren a la hora de realizar la preparación (1, 2 o 3).

La elección de una modalidad u otra para la realización del proceso de preparación de pedidos tendrá gran repercusión en los costes, en el tiempo total incurrido en esta actividad y en la calidad de servicio brindado al cliente. Por lo tanto inmediatamente impactará en el rendimiento del centro de distribución y por ende en el de toda la cadena de suministro [1].

El presente artículo evalúa el impacto que tienen sobre el tiempo total de preparación diferentes estrategias de almacenamiento y lotificación en un sistema Producto a Operario formado por un *Miniload*, operando bajo variadas tipologías de pedidos. Para ello se ha seguido la metodología de Diseño de Experimentos propuesta por Tanco [9], cuyas secuencia de actividades se basa en una adaptación de la metodología de Seis Sigma DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar [10]. Los experimentos han sido llevados a cabo en un modelo de simulación basado en un almacén automático compuesto por un sistema *Miniload*, ya que estos sistemas son empleados en plataformas logísticas de distribución de alta complejidad [11].

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Se ha demostrado en estudios anteriores que el *Diseño de Experimentos* (DoE) es una herramienta útil a la hora de diseñar procesos/productos [12, 13]. Ésta es una técnica

estructurada para poder caracterizar, mejorar y optimizar un proceso de manera eficiente a través de la recopilación, análisis e interpretación de los datos [14]. Hace posible contemplar diversas posibilidades de manera simultánea, consumiendo menor cantidad de recursos para obtener la misma o mayor cantidad de información que estrategias de experimentación como “Un factor a la vez” o “Ensayo y error”. Adicionalmente permite ver no sólo el impacto de los factores considerados sobre la respuesta, sino también la existencia de relaciones entre los mismos [9].

Algunas investigaciones anteriores en el área de gestión de almacenes que se han focalizado en situaciones específicas o problemas puntuales de la preparación de pedidos, han empleado el DoE como herramienta. Entre los mismos puede citarse el trabajo realizado por Petersen [6], donde se comparan diferentes políticas de preparación, de ruteo y de almacenaje según diversos tamaños de pedidos en un sistema manual Operario a Producto. Manzini [15] identifica el factor que afecta de manera más crítica el rendimiento de un sistema AS/RS (*Automatic Storage and Retrieval System*). Un año más tarde Manzini [5] identifica y mide los impactos principales de políticas alternativas y diversas configuraciones en un sistema Producto a Operario analizando el tiempo de respuesta como resultado. Recientemente, Ekren [16], evalúa los efectos de parámetros de diseño predefinidos en un sistema automatizado AVS/RS (*Autonomous Vehicle Storage and Retrieval System*).

## 2.2. SIMULACIÓN

En la mayoría de los trabajos de investigación citados en el sub-apartado anterior, los autores han empleado la simulación como medio para llevar adelante su Diseño de Experimentos. Según lo señalado por Banks [17], el uso de un modelo es apropiado para estudiar y experimentar interacciones entre los factores que componen sistemas complejos, sin perturbar el sistema real. Por este motivo resulta conveniente en casos en los que experimentar resulte costoso o implique distorsiones en el funcionamiento del sistema real que no puedan permitirse.

Khoshnevis [18] la define como la construcción de modelos que representen sistemas ya existentes o hipotéticos, y la experimentación con dichos sistemas para explicar el comportamiento de los mismos, mejorar sus rendimientos o diseñar nuevos sistemas con desempeños deseados. Existen diferentes métodos de simulación, pero el más extendido es la Simulación de Eventos Discretos [19]. Ésta es una técnica en la cual se modela el sistema analizado, representando el estado de sus elementos mediante un grupo de variables que cambia a medida que pase el tiempo de manera discreta [20].

## 3. OBJETIVO Y MÉTODOS

Mediante el presente trabajo se pretende evaluar el impacto de diferentes estrategias de almacenamiento y lotificación en el tiempo total de preparación, en un sistema

Producto a Operario formado por un *Miniload*, operando bajo variadas tipologías de pedidos.

Para lograr dicho cometido se ha empleado la herramienta de Diseño de Experimentos [9], cuyas secuencia de actividades se ha basado en una adaptación de las etapas Definir, Medir y Analizar de la metodología de Seis Sigma DMAIC [10]. Los experimentos han sido llevados a cabo en un modelo de simulación que representa un almacén automático compuesto por un sistema *Miniload*, cuya descripción se realizará más adelante.

A continuación se irán explicando paso a paso las decisiones tomadas en cada una de las etapas de la metodología de DoE. En la Figura 2 se listan las fases de esta metodología, a la vez que se las sitúa dentro del marco DMAIC.



Figura 2: Pasos de la metodología de DoE empleada dentro del marco DMAIC

### 3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Se trata de un problema de caracterización y no de optimización, por lo que no se ha buscado obtener la combinación óptima de los factores intervinientes en el problema, sino que se intentará evaluar el efecto de los mismos en la respuesta y las posibles interacciones que puedan existir entre los éstos.

Se ha seleccionado como respuesta el tiempo (medido en segundos) de preparación de un conjunto de pedidos. La cantidad de pedidos responde a la realidad de muchos Centros de Distribución, donde la operativa permite la preparación simultánea de un grupo de pedidos. Por otra parte, cabe recordar que se ha seleccionado el tiempo total de preparación ya que, según lo señalado por De Koster [1] y Tompkins [2], el picking es la actividad más intensiva en recursos (personas, maquinaria y capital) dentro del almacén y tiene un impacto directo en la calidad de servicio: cuando antes se prepare antes llegará a manos del cliente.

Para garantizar la fiabilidad de la respuesta se han realizado tres repeticiones de cada uno de los experimentos, lo cual permite también calcular la varianza de los datos [21].

### 3.2. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FACTORES INVOLUCRADOS

A partir de la literatura, se han tomado como referencia los trabajos de Goetschakckx [4] y Frazelle [22] para listar los factores que se presume afectan al proceso de preparación.

Por un lado se distinguen los factores extrínsecos del

proceso de preparación, o sea aquellos relacionados al producto y su respectiva demanda. Entre ellos se encuentran:

- Tipología de pedidos
  - Cantidad de unidades o SKU demandadas por línea de pedido
  - Número de líneas por pedido
- Mix de productos ABC
- Características de los productos (morfología, tamaño y peso)
- Variabilidad de la demanda

Por otra parte los factores referentes a la operativa y organización del *picking* se listan a continuación:

- Unidad de almacenamiento
- Unidad de pedido o de preparación
- Número de referencias a almacenar
- Grado de automatización
- Almacenamiento o ubicaciones
- Lotificación
- Clasificación
- Lanzamiento de órdenes
- Zonificación

Cada uno de los factores ha sido catalogado en alguna de las siguientes clases:

*Factores primarios:* aquellos cuya influencia en la respuesta se desea estudiar. Éstos son los que se evaluarán en diferentes niveles durante la etapa de experimentación. En esta categoría se han incluido los siguientes factores:

- Cantidad de unidades o SKU demandadas por línea de pedido
- Número de líneas por pedido
- Mix de productos ABC
- Almacenamiento o ubicaciones
- Lotificación
- Clasificación

*Factores mantenidos constantes:* aquellos que podrían tener cierta repercusión en la respuesta, pero que la misma no se pretende estudiar en el presente trabajo de experimentación. Aquí se englobaron el resto de los factores:

- Características de los productos (morfología, tamaño y peso)
- Variabilidad de la demanda
- Unidad de almacenamiento
- Unidad de pedido o de preparación
- Número de referencias a almacenar
- Grado de automatización
- Zonificación
- Lanzamiento de órdenes

Estos factores han sido mantenidos constantes respetando las características del sistema real en el cual se ha basado el modelo de simulación desarrollado. Si bien en futuros

trabajos podría resultar interesante incluir estos factores para generar un modelo generalizado, por el momento se ha decidido analizar el vínculo de aquellos factores de operación cuya modificación pueda realizarse de forma ágil en una etapa de rediseño.

### 3.3. DEFINICIÓN DEL DISEÑO

En una aproximación inicial se ha decidido que estos factores primarios sean evaluados según un diseño factorial a dos niveles, ya que además de ser los más utilizados en la industria, estos diseños son altamente eficientes y permiten la estimación de todos los efectos [9]. Contemplando todos los factores primarios se sugiere el diseño factorial completo  $2^6$  mostrado en la Figura 3, donde el primer punto mostrado para cada factor corresponde al nivel bajo (-1) y el segundo al nivel alto (1).

Cabe destacar que las cantidades por línea definidas para cada nivel son valores promedio considerando todas las unidades solicitadas en las líneas de un pedido. Por otro lado, la comunalidad ha sido considerada como una propiedad correspondiente a un conjunto de pedidos, midiéndose la cantidad de referencias en común entre ellos. Si existen muchas referencias que se repiten, se considera una comunalidad alta, y si, por el contrario, los pedidos se componen por diferentes artículos, la comunalidad es baja.

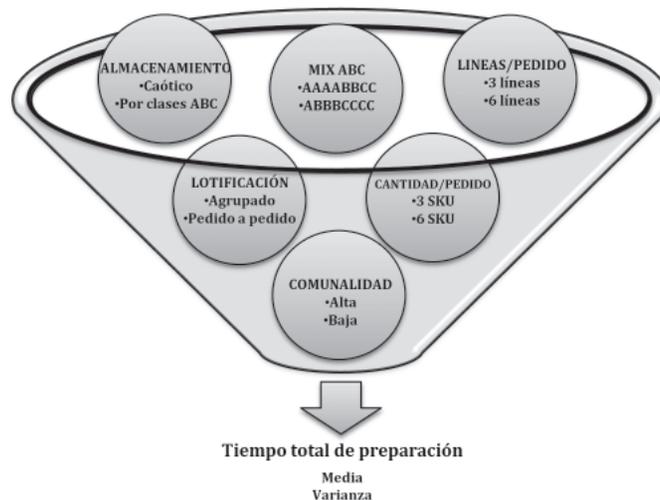


Fig. 3: Respuesta, factores y niveles para desarrollar un diseño factorial completo

A continuación se definirá en qué nivel han sido mantenidos constantes los ocho factores restantes.

- Todos productos tienen la misma morfología, tamaño y peso. Esto es importante, ya que de este modo se han evitado las restricciones con respecto a las ubicaciones, pudiendo realizarse un almacenamiento completamente caótico en caso de ser requerido.
- Se ha analizado una tipología de pedidos específica, por lo que no se ha incluido en el estudio la variabilidad de la demanda.

- La unidad de almacenamiento utilizada es 6 unidades.
- Dado que la preparación se ha realizado por unidades, el máximo de unidades transportadas simultáneamente equivale al tamaño de la unidad de almacenamiento (unidad de pedido igual a 6).
- La cantidad de referencias a almacenar ha venido condicionado por la capacidad del almacén.
- Con respecto al grado de automatización, el sistema analizado es semi-automatizado producto a operario con un Miniload.
- Se cuenta con una única zona de almacenamiento.
- El lanzamiento de órdenes se ha realizado de manera discreta, coincidiendo el tamaño de la ola con la agrupación de pedidos definida por el nivel bajo del factor lotificación.

### 3.4. EXPERIMENTACIÓN

En función de lo decidido en las primeras tres etapas de la metodología de DoE, se ha adaptado un modelo de Simulación de Eventos Discretos empleando el software *Enterprise Dynamics*, cuyas características se describen a continuación:

Se ha modelado un almacén con un sistema Producto a Operario Miniload, con un camino de rodillos de evacuación, un transelevador, una calle de entrada y otra de salida. Ésta última está conectada a cuatro puestos de preparación a través de transportadores motorizados. Adicionalmente, el modelo cuenta con un sistema de control y registro de información y resultados, operando como el sistema de gestión de almacenes (SGA). Cabe destacar que los tiempos incurridos en el circuito de mantenimiento no son determinísticos, sino que responden a una distribución de probabilidad. Esto es importante, que ya que al repetir los experimentos con las mismas condiciones, el tiempo de preparación variará plasmando lo que sucedería en el sistema real. La Figura 4 muestra tanto la vista 3D (a la izquierda), como una vista 2D (a la derecha).

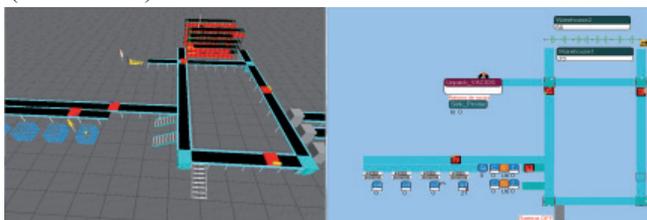


Figura 4: Modelo de Simulación de Eventos Discretos en 3D y 2D

### 3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para esta etapa se ha utilizado el software de análisis de datos Minitab® 15 en el cual se ha llevado a cabo un análisis de varianza ANOVA, en un inicio para la primera respuesta (media del tiempo de preparación total) y luego para la segunda (varianza del tiempo de preparación total).

*Análisis de la media del tiempo de preparación total*

Se ha estudiado qué efectos resultan significativos en la

respuesta empleando como criterio inicial un p-valor de 0.05. Del análisis de varianza realizado en una primera iteración, en la cual se estudiaron todas las interacciones hasta las de cuarto nivel, se desprende que presentan un p-valor inferior a 0.05 los efectos y combinaciones resumidos en la Tabla 1.

Factor o interacción	P-valor
Cantidad por línea	0,000
Nº de líneas	0,000
Mix ABC	0,000
Comunalidad	0,047
Almacenamiento	0,000
Lotificación	0,000
Cantidad por línea*Nº de líneas	0,000
Cantidad por línea*Mix ABC	0,001
Cantidad por línea*Almacenamiento	0,000
Nº de líneas*Mix ABC	0,004
Nº de líneas*Almacenamiento	0,000
Nº de líneas*Lotificación	0,000
Mix ABC*Lotificación	0,000
Comunalidad*Almacenamiento	0,036
Cantidad por línea*Nº de líneas*Lotificación	0,000
Cantidad por línea*Mix ABC*Lotificación	0,037
Nº de líneas*Mix ABC*Lotificación	0,001
Mix ABC*Comunalidad*Almacenamiento	0,008

Tabla 1: Resultados del análisis de varianza de la primera iteración

El análisis ha continuado de forma iterativa, quitando poco a poco aquellos efectos menos influyentes en la respuesta, para finalmente obtener solamente los efectos significativos. Adicionalmente se ha comprobado que los residuos obtenidos son adecuados (Fig. 5).

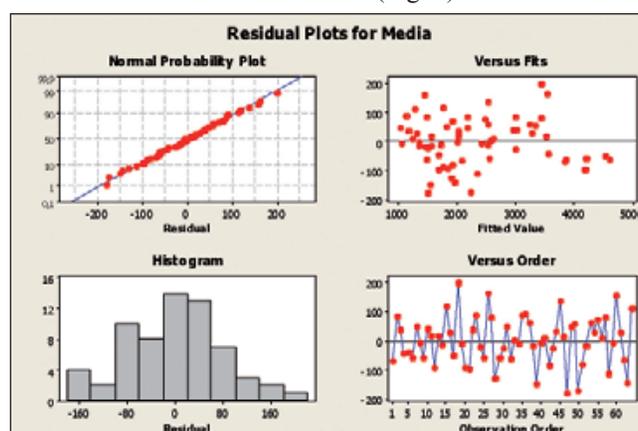


Fig. 5: Gráfico análisis de residuos al analizar la media del tiempo de preparación total

En la Fig. 6 se muestran el gráfico de Probabilidad Normal y el diagrama de Pareto para la primera iteración,

mientras que la Fig. 7 resume la última iteración donde sólo se ven los efectos significativos. Los factores o interacciones más significativos son los que se encuentran más alejados de la línea continua mostrada en el Gráfico de Probabilidad Normal, o bien, los representados por las barras más extensas en el Diagrama de Pareto.

### 3.6. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DEL TIEMPO DE PREPARACIÓN TOTAL

En esta etapa se ha realizado un estudio análogo al llevado a cabo para la media, donde se ha analizado el efecto de los factores en la varianza del tiempo medio de preparación. Para esto se ha calculado el logaritmo neperiano de la varianza  $S^2$ , logrando una mejor adecuación de los residuos. Igual que para el análisis de la media del tiempo de preparación, en este caso se ha realizado un análisis iterativo, quitando poco

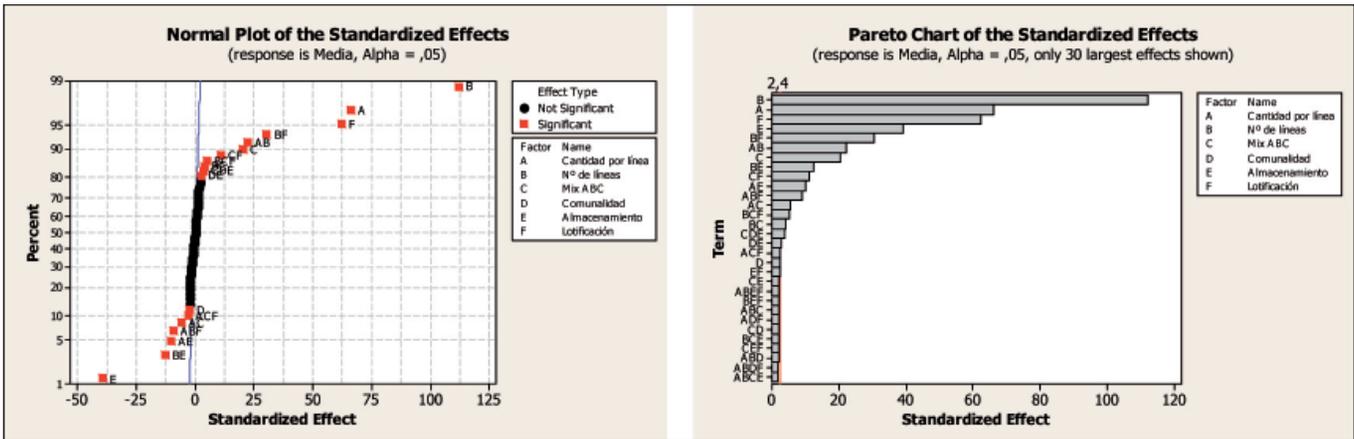


Figura 6: Gráfico de Probabilidad Normal y Diagrama de Pareto para la primera iteración al analizar la media del tiempo de preparación total

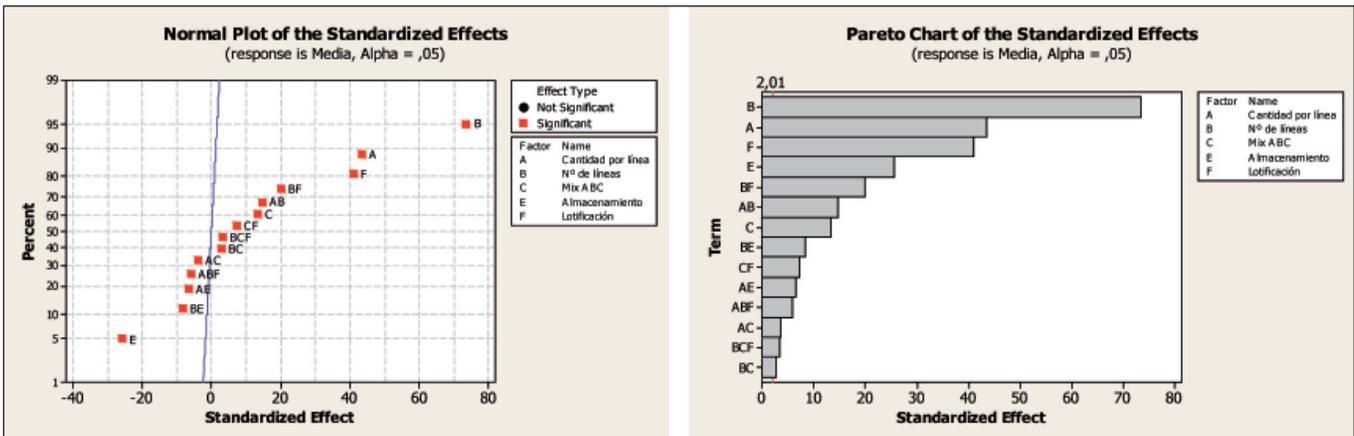


Figura 7: Gráfico de Probabilidad Normal y Diagrama de Pareto para la última iteración al analizar la media del tiempo de preparación total

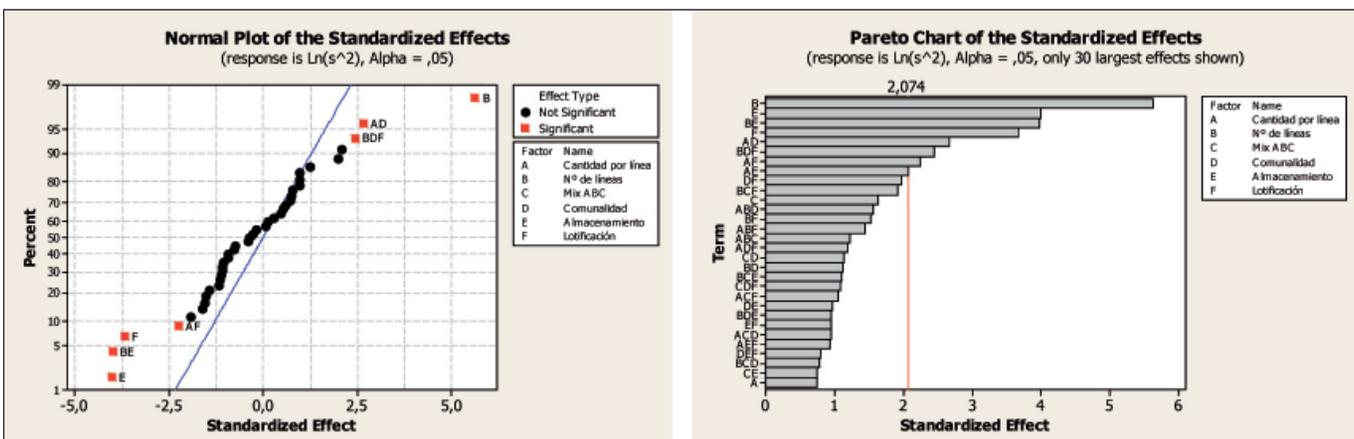


Figura 8: Gráfico de Probabilidad Normal y Diagrama de Pareto para la primera iteración al analizar la varianza del tiempo de preparación total

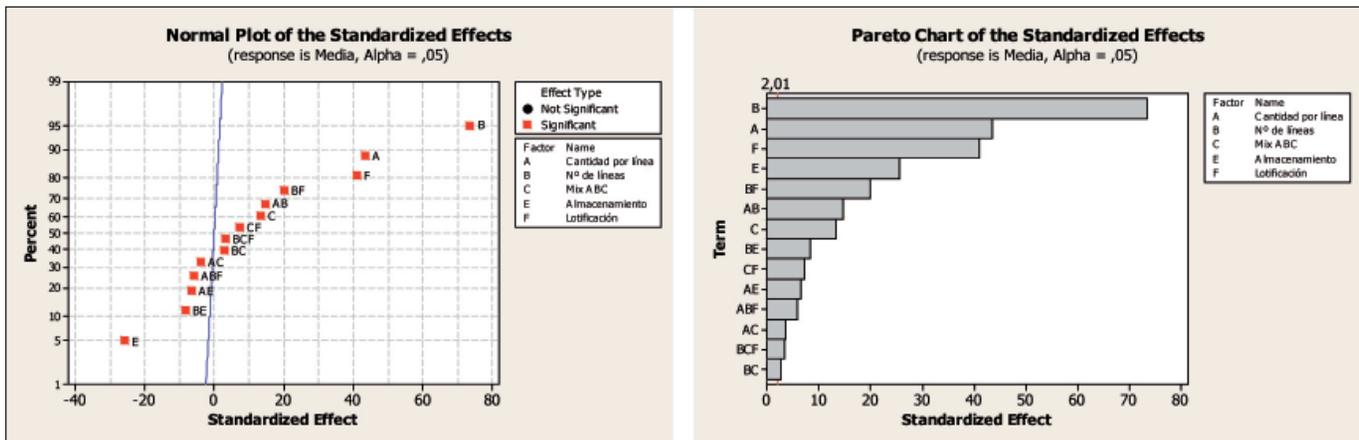


Figura 9: Gráfico de Probabilidad Normal y Diagrama de Pareto para la última iteración al analizar la varianza del tiempo de preparación total

a poco aquellos efectos menos influyentes en la respuesta, para finalmente obtener solamente los efectos significativos.

En la Figura 8 se muestran el gráfico de Probabilidad Normal y el diagrama de Pareto para la primera iteración, mientras que la Figura 9 resume la última iteración donde sólo se ven los efectos significativos.

#### 4. RESULTADOS

Se ha determinado los efectos principales y las interacciones de efectos significativos para ambas respuestas estudiadas. Para la media del tiempo de preparación se observa en la Figura 7 que el factor con mayor efecto sobre la respuesta es el número de líneas por pedido. A éste le siguen en importancia la cantidad por pedido, la lotificación y el almacenamiento. Luego ya comienzan a mostrarse significativas las interacciones de segundo orden en las que interviene el número de líneas. En la Figura 10 pueden verse los efectos principales, así como también las interacciones de segundo orden.

De esta figura también puede estimarse que la combinación de los niveles analizados que minimiza el tiempo total de preparación corresponde a lo resaltado en la Tabla 2.

	Nivel -1	Nivel 1
<b>Cantidad por línea</b>	3	6
<b>Nº de líneas</b>	3	6
<b>Mix ABC</b>	Mix 1 AAAABBCC	Mix 2 ABBCCCC
<b>Comunalidad</b>	Baja	Alta
<b>Almacenamiento</b>	Caótico	Por clases
<b>Lotificación</b>	Agrupado (4 pedidos a la vez)	Pedido a pedido

Tabla 2: Niveles que minimizan el tiempo total de preparación

Cabe recordar que se trata de un problema de caracterización y no de optimización, por lo que no se ha buscado obtener la combinación óptima de los diferentes factores intervinientes en el problema, sino que se intentará evaluar el efecto de los mismos en la respuesta y las posibles interacciones que puedan existir entre los éstos

Finalmente, se ve en la Figura 9 que el factor que aporta mayor variabilidad en el tiempo de preparación es el número de líneas, seguido por el almacenamiento y la interacción entre ambos.

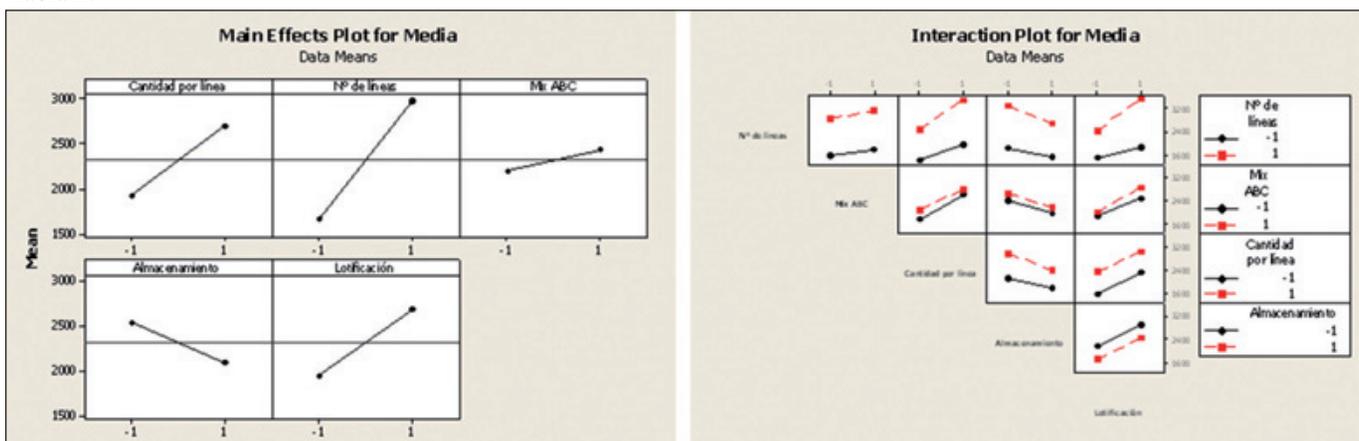


Figura 10: Efectos principales e interacciones de efectos para la media del tiempo de preparación

## 5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha realizado un Diseño de Experimentos basado en la metodología DMAIC y apoyado en un modelo de Simulación de Eventos Discretos, con el objeto de identificar los factores que influyen en el tiempo de preparación en un almacén con un sistema Miniload. Se han estudiado como factores principales la *lotificación, el almacenaje, el Mix de productos ABC, el número de líneas por pedido y la cantidad solicitada en esas líneas.*

Un análisis de varianza ANOVA ha señalado que el *número de líneas* es el factor más significativo en el tiempo total de preparación, y adicionalmente el que aporta mayor variabilidad al mismo. El efecto que le sigue es la *cantidad por línea*. Este dato resulta relevante, ya que los dos efectos mencionados con mayor impacto en la respuesta están relacionados al producto y su respectiva demanda. Esto destaca la importancia de diseñar sistemas de *picking* flexibles y adaptativos, de tal forma que conociendo las interacciones existentes entre la demanda existente y la tipología de pedido, con las alternativas organizativas sea posible ajustar la operativa.

## 6. FUTURAS LÍNEAS

En futuras investigaciones se pretende incorporar el análisis de los factores que han sido mantenidos constantes en esta primera instancia. Se tiene especial interés en observar la incidencia de diferentes unidades de pedido o preparación, de distintos tamaños de lanzamientos de órdenes y de una zonificación en el almacén. Asimismo se espera ratificar los resultados obtenidos en el sistema real, considerando aquellos factores cuyos efectos sean más significativos.

Por otra parte, sería interesante realizar un estudio similar con los datos de otro almacén Producto a Operario con un menor nivel de automatización de los procesos de preparación para poder tener una comparativa de resultados. De esta forma sería posible realizar algunas generalizaciones que podrían dar lugar a una metodología global para el diseño de sistemas de preparación de pedidos adaptativos y flexibles.

## 7. AGRADECIMIENTOS

En este proyecto han colaborado: el Dr. Martín Tanco, cuya tesis doctoral se ha basado en el desarrollo de la Metodología de Diseño de Experimentos empleada en este trabajo, y Miriam García investigadora del Instituto Tecnológico de Aragón.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] De Koster R, Le-Duc T, Roodbergen J. "Design and control of warehouse order picking: A literature review". *European Journal of Operational Research* 2007 Vol.102, p. 481-501
- [2] Tompkins J A, White J A, Bozer Y A, Frazelle E H, et al. M A. *Facilities Planning*. 4th Edition. NJ: John Wiley Et Sons, 2010. 854p. ISBN: 978-0-470-44404-7
- [3] Errasti A, Chackelson C, Arcelus M. "Estado del arte y retos para la mejora de sistemas de preparación de pedidos en almacenes - Estudio Delphi". *Dirección y Organización*, 2010 Vol.40, p.78-85
- [4] Goetschalckx M, Ashayeri J. "Classification and design of order picking systems". *Logistics World* June 1989, p.99-106
- [5] Manzini R, Gamberi M, Persona A, et al. "Design of a class based storage picker to product order picking system". *International Journal of Advanced Manufacturing technologies* 2007 Vol.32, p.811-821
- [6] Pertersen C G, Aase G. "A comparison of Picking, storage, and routing policies in manual order picking". *International Journal of production economics* 2004 Vol. 92, p.11-19
- [7] Van den Berg J P. "A literature survey on planning and control of warehousing systems". *IIE Transactions* 1999 Vol. 31, p.751-762.
- [8] Carrasco-Gallego R, Ponce-Cueto E. "Mejora de la eficiencia de una central logística mediante el rediseño del reaprovisionamiento de la zona de Picking". *Dirección y Organización*. Octubre 2008 Vol.36, ISSN: 1132-175X.
- [9] Tanco M, Viles E, Ilzarbe L, et al. "Implementation of Design of Experiments projects in industry". *Applied stochastic models in business and industry* 2009 Vol.25 p.478-505
- [10] Pande P S, Cavanagh R R, Neuman R P, *Las claves prácticas de Seis Sigma: una guía dirigida a los equipos de mejora de procesos*, McGraw-Hill, Interamericana de España, 2007.
- [11] Errasti A. Proyecto OPP Optimización Preparación de Pedidos. Cluster de Transporte y Logística de Euskadi, diciembre 2007
- [12] Bhote K R, Bhote A K. *Word Class Quality. Using the Design of Experiments to make it happen*. 2nd edition. New York: Amacom, 2000. 487p. ISBN: 0-8144-0427-8
- [13] Czitrom V, Spagon P D. *Statistical Case Studies for Industrial Process Improvement ASA-SIAM on Statistics and Applied Probability*. United States of America: ASA-SIAM, 1997. 514p. ISBN: 0-89871-394-3
- [14] Box GE P, Hunter J S, Hunter W G. *Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery* 2005
- [15] Manzini R, Gamberi M, Regattieri A. "Design and control of an AS/RS". *International Journal of Advanced manufacturing technologies* 2006 Vol. 28 p.766-774
- [16] Ekren B, Heragu S, Krishnamurthy A, et al. "Simulation based experimental design to identify factors affecting performance of AVS/RS". *Computer and Industrial Engineering* (article in press) 2009
- [17] Banks J, Carson J S and Nelson B L. *Discrete-Event System Simulation*. 5th edition. United States: Prentice Hall, 2010. 640p. ISBN-10: 0136062121
- [18] Khoshnevis, B. *Discrete Systems Simulation*. Singapore: McGraw-Hill Inc 1994. 337p. ISBN: 0071139257, 9780071139250
- [19] Jahangirian M, Eldabi T, Naseer A, et al. "Simulation in manufacturing and business: A review". *European Journal of Operational Research* 2010 Vol. 203 p.1-13
- [20] Goti-Elordi A, García-Sánchez Á, Ortega-Mier et al. "Optimización del punto de pedido: Solución gratuita a un problema. Solución gratuita a un problema extensamente estudiado pero pobremente resuelto". *Dyna* Septiembre 2010, Vol. 85 6, p.71-72
- [21] Montgomery Douglas C. *Design and Analysis of Experiments*. 7th Edition. John Wiley and Sons, 2008. 656p. ISBN: 978-0-470-12866-4
- [22] Frazelle E. *World-Class Warehousing and Material Handling*. New York: McGraw-Hill, 2002. 242p. ISBN: 0-07-137600-3