

Mejoramiento de la recepción en una empresa de colchones utilizando simulación y diseño de experimentos*

Rodrigo Andrés Gómez Montoya**, Alexander Alberto Correa Espinal***

Resumen

La operación de recepción tiene impacto en la productividad y satisfacción de los clientes, de allí la necesidad de su adecuado funcionamiento. **Objetivo.** Presentar el estado del arte y desarrollar una propuesta de implementación de un modelo de simulación discreta y diseño experimental para el mejoramiento de la operación de recepción en la gestión del almacén de producto terminado, incluyendo la elaboración de un caso de aplicación en una empresa mediana de colchones en la ciudad de Medellín. **Materiales y Métodos.** Se desarrolla un enfoque metodológico para el uso de la simulación discreta y el diseño experimental en la operación de recepción, lo cual, contribuye al estado del arte. **Resultados.** De la metodología y el caso de aplicación empresarial realizado, se identificó y verificó la capacidad de estas herramientas para mejorar la operación de recepción, ya que se disminuyó su tiempo promedio total de 30 a 5 minutos, y se mejoró la eficiencia en el modelamiento debido a que el diseño experimental permitió enfocarse en los factores que afectaban la variable de interés.

Palabras clave: diseño de experimentos, recepción, gestión de almacenes, mejoramiento, simulación discreta.

Reception improvement in a mattresses factory by simulation and experimental design

Abstract

The operation of reception has an impact on productivity and on the client's satisfaction, hence the necessity of making it work well. **Objective.** To intro-

duce the state of the art and develop a proposal to implement a discrete simulation model and an experimental design, in order to improve the reception operation in the management of the storage of a finished product, including a case of operation in a mid size mattress factory from Medellín. **Materials and Methods.** A methodology focus is designed for the use of the discrete simulation and the experimental design in the reception operation, contributing to the state of the art. **Results.** The capability of the methodology and of the application case to improve the reception operation was identified and verified, because the media time required was reduced from 30 to 5 minutes and the efficiency in the modeling improved, due to the fact that the experimental model allowed a focus on the factors that affected the variable of interest.

Key words: experimental design, reception, storage management, improvement, discrete simulation.

Melhoramento da recepção numa empresa de colchões utilizando simulação e desenho de experimentos

Resumo

A operação de recepção tem impacto de em a produtividade e satisfação dos clientes, de ali a necessidade de seu adequado funcionamento. **Objetivo.** Apresentar o estado da arte e desenvolver uma proposta de implementação de um modelo de simulação discreta e desenho experimental para a melhora da operação de recepção na gestão do armazém de produto findo, incluindo a elaboração de um caso de aplicação numa empresa média de colchões na cidade de Medellín. **Materiais e Métodos.** Desenvolve-se um enfoque metodológico para

* El artículo es resultado de la tesis de maestría: "Desarrollo de modelo para apoyar el diseño o mejoramiento de las operaciones y recursos de la gestión de almacenes basados en simulación discreta y diseño experimental"

** Ingeniero Industrial. MSc (c) Ingeniería Administrativa. Docente Corporación Universitaria Lasallista.

*** Ingeniero Industrial. PhD Estadística e investigación de Operaciones. Profesor Asociado Escuela de la Organización, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

Correspondencia: Rodrigo Andrés Gómez Montoya. e-mail: rodrigomez1986@gmail.com

Artículo recibido: 15/01/2010; Artículo aprobado: 25/04/2011

o uso da simulação discreta e o desenho experimental na operação de recepção, o qual, contribui ao estado da arte. **Resultados.** Da metodologia e o caso de aplicação empresarial realizado, identificou-se e verificou a capacidade destas ferramentas para melhorar a operação de recepção, já que se diminuiu seu tempo médio total de 30 a 5 minutos, e se

melhorou a eficiência no molde devido a que o desenho experimental permitiu enfocar-se nos fatores que afetavam a variável de interesse.

Palavras Importantes: desenho de Experimentos, Recepção, Gestão de Armazéns, melhora, Simulação Discreta.

Introducción

En la actualidad, la gestión del almacén de producto terminado ha cobrado importancia en el ámbito investigativo y empresarial, ya que este proceso no solo representa alrededor el 20% de los costos totales logísticos de la empresa, sino que también es determinante para que se alcancen niveles de servicios adecuados, lo cual impacta en la satisfacción de las necesidades de los clientes y en las relaciones con los otros actores de la cadena de suministro¹; de allí, la presión que ha surgido en la última década de diseñar, administrar, controlar y mejorar la gestión del almacén de producto terminado utilizando diferentes tipos de métodos cualitativos y cuantitativos, tales como simulación discreta, diseño experimental, entre otros, que permitan alcanzar niveles adecuados de productividad y eficiencia².

En cuanto a sus definiciones, Tompkins y Harmenlink³ indican que este proceso logístico considera el flujo de productos e información, incluyendo el desarrollo de operaciones de recepción, acomodo, almacenamiento, preparación de pedidos y despacho para atender los pedidos de los clientes a costos adecuados. Por su parte, Gu, Goetschalckx y McGinnis⁴ lo definen como “un componente esencial de la cadena de suministro que permite regular el flujo de productos a través de sus diferentes eslabones, facilitando la gestión de la variabilidad de la demanda y el desarrollo de procesos de valor agregado a los clientes”. Dentro de las operaciones del almacén de producto terminado, la recepción se encarga de identificar, inspeccionar y registrar los productos recibidos de producción y proveedores, garantizando que estos cumplan las especificaciones y condiciones negociadas y planificadas⁵. Además, puede representar el 15% de los costos logísticos de la gestión de almacenes⁶.

En el estado del arte del diseño y mejoramiento de la operación de recepción, se identifican cuatro enfoques. El *primer enfoque* son metodologías compuestas por un conjunto de etapas que apoyan el diseño o mejoramiento de la gestión de almacenes de manera integral, donde la recepción es una operación que debe ser caracterizada, incluyendo los recursos que utiliza⁷⁻¹³. El segundo enfoque son modelos conceptuales de simulación que permiten describir las políticas, actividades y recursos de las operaciones de la gestión de almacenes a través de diferentes herramientas como: caracterizaciones y catálogos; patrones de operaciones clave y sus descomposición lógica¹⁴ y elementos del dominio del problema¹⁵ que incluye un modelamiento de las operaciones en dos niveles: uno superior y otro detallado. A partir de los artículos revisados, se puede indicar que ninguno se centra en estudiar y detallar el modelamiento de la operación de recepción. En cuanto al tercer enfoque, este propone el uso de modelos conceptuales, simulación discreta y experimentación basada en ensayo y error, para apoyar decisiones de diseño y mejoramiento de la operación de la recepción. En la literatura científica se identifican para este enfoque artículos científicos con aplicaciones a empresas particulares de textiles y alimentos, utilizando principalmente el software ARENA®¹⁶⁻¹⁸. Finalmente, el cuarto enfoque es similar al anterior, pero utiliza la técnica estadística de diseño de experimentos para analizar, evaluar y apoyar las decisiones de diseño o mejoramiento de las operaciones de la gestión de almacenes. En la literatura científica, se identifican dos perspectivas para su uso: la primera consiste en representar, elaborar y validar un modelo de simulación discreta con la operación de recepción y, a partir de este, evaluar y analizar diferentes alternativas de diseño y mejora empleando diferentes modelos de diseño experimentales como: factoriales generales, 2^k, entre otros¹⁹. La segunda

plantea inicialmente el diseño de experimentos con los objetivos, factores, modelos estadísticos y estrategias de análisis para diseñar o mejorar la operación de recepción, y posteriormente utiliza la simulación para realizar las diferentes corridas o alternativas que permitan apoyar la toma de decisiones²⁰. De otra parte, se debe indicar que ninguno de los artículos revisados en este enfoque considera el diseño o mejoramiento de la operación de recepción. Además, las propuestas existentes se centran, como se indicó con anterioridad, en la aplicación de diseños del tipo 2^k , que es del tipo exploratorio, y no se evalúan otros tipos de diseños existentes en la literatura que pueden contribuir a un enfoque eficiente de la recepción, incluyendo una orientación a satisfacer las necesidades de los clientes.

Por los motivos expuestos, el presente artículo tiene como objetivo presentar el estado del arte y desarrollar una propuesta de implementación de un modelo de simulación discreta y diseño experimental para el mejoramiento de la operación de recepción en la gestión del almacén de producto terminado, incluyendo la elaboración de un caso de aplicación en una empresa mediana de colchones en la ciudad de Medellín. Además, se busca demostrar el enfoque de implementación y los beneficios que puede generar la utilización de la estadística aplicada en el diseño y mejoramiento de la gestión del almacén de producto terminado.

Otro aspecto importante, que se debe resaltar, es que el presente artículo es resultado de la tesis de maestría en Ingeniería Administrativa de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, denominada: Desarrollo de diseño y mejoramiento de las operaciones y recursos de la gestión del almacén de producto terminado utilizando simulación discreta y diseño experimental, la cual, se encuentra en proceso de evaluación y aprobación²¹.

Para alcanzar el objetivo del artículo, se emplea una metodología que se divide en dos partes: la primera consiste en la revisión y análisis de información secundaria proveniente de artículos científicos y libros académicos consultados de bases de datos, tales: Science Direct, Taylor and Francis, Emerald, entre otras, información que permite elaborar el estado del arte relacionado con la aplicación de la simulación discreta

y el diseño experimental para el mejoramiento de la operación de recepción. En cuanto a la segunda parte, se utilizan los resultados del estado del arte para efectuar un caso de aplicación, que incluye: descripción, diagnóstico y priorización de oportunidades de mejora de la operación de recepción en la empresa mediana de colchones, para, posteriormente, aplicar una metodología de simulación discreta, que utiliza en la etapa de experimentación la técnica estadística de diseño experimental. Para apoyar el modelamiento, análisis, y evaluación de alternativas de mejora, se utilizan el software de simulación ARENA 12®, y el paquete estadístico Minitab 15®

El artículo se estructura en tres partes: la primera describe las generalidades y herramientas para su diseño y mejoramiento de la gestión del almacén de producto terminado, incluyendo la recepción; en cuanto, a la segunda, se describe el estado del arte, y aplica la simulación discreta y el diseño experimental en el mejoramiento de la operación de una empresa mediana de colchones; finalmente, en la tercera, se presentan las conclusiones del artículo y trabajos futuros.

Materiales y métodos

Para alcanzar el objetivo propuesto en este numeral, se establecen las siguientes etapas, las cuales, cubren desde la descripción de la empresa, la gestión del almacén de productos terminados, incluyendo la operación de recepción pasando por la construcción del modelo de simulación discreta en el software ARENA hasta el uso del diseño experimental para apoyar las decisiones de mejoramiento de la operación de recepción en la empresa mediana de colchones en estudio.

Si se requiere mayor información y nivel de detalle del caso aplicación de simulación y diseño experimental para el mejoramiento de las operaciones de recepción en la empresa de colchones en estudio, se recomienda revisar la tesis de maestría²².

A continuación, se presenta la estructura metodológica de la propuesta desarrollada (ver figura 1):

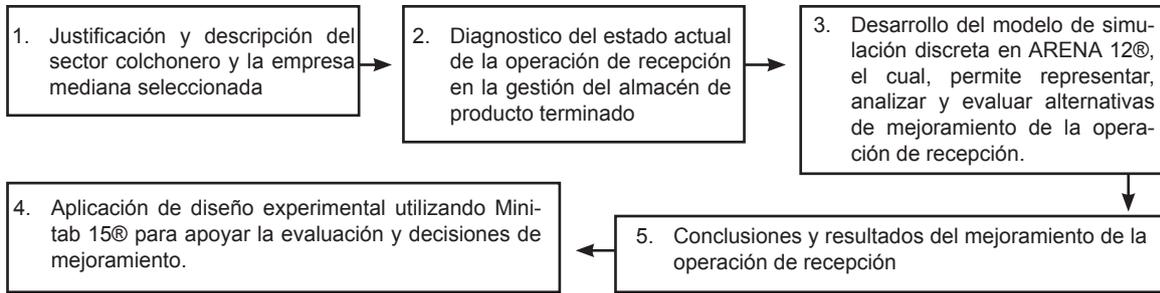


Figura 1. Estructura de aplicación empresarial de la propuesta de investigación desarrollada.

Fuente: Elaboración propia

De la estructura presentada (ver figura 1), se puede indicar que el componente relacionado con diseño de experimentos busca mostrar y validar la importancia e impacto que tiene esta técnica estadística para mejorar las capacidades de mejoramiento de la operación de recepción y sus recursos.

1. Justificación y descripción del sector colchonero en Colombia y de empresa mediana, seleccionada para la aplicación

Para realizar la aplicación, se selecciona el sector colchonero en Colombia, el cual ha cobrado importancia debido a que en 2008 registró ventas por \$700.000 millones de pesos, e incrementó las exportaciones a países de mercados como Ecuador, Panamá, Costa Rica, entre otros, en un 12%. Adicionalmente, en Colombia la gestión del almacén de producto terminado de colchones está regulada a través de la resolución 001842 de 2009, lo cual hace necesaria su adecuada gestión.

- Descripción de la empresa mediana seleccionada. Para elaborar el caso de aplicación, se seleccionó una empresa mediana ubicada en la ciudad de Medellín que fabrica colchones, los cuales son comercializados a escalas local y nacional, con un volumen de ventas aproximado de 3.000 unidades/mes.

En la actualidad la empresa tiene un sistema logístico que permite transformar las materias primas e insumos en colchones de diferentes referencias, los cuales permiten satisfacer las necesidades de los clientes. Entre los procesos logísticos que desarrolla la empresa, se incluyen: aprovisionamiento y compras, producción,

almacenamiento de producto terminado, transporte y distribución, y logística inversa. Dentro de los procesos descritos, la gestión del almacén de productos terminado tiene como objetivos principales administrar el inventario y manipular los colchones, con el fin de amortiguar la oferta y la demanda, satisfacer las necesidades de los clientes y operar de una manera eficiente.

2. Diagnóstico de la gestión del almacén de producto terminado de la empresa mediana de colchones seleccionada

Se hace un diagnóstico de la operación de recepción, incluyendo algunas generalidades de la gestión del almacén de colchones terminados, con el fin de recolectar, procesar y analizar información primaria y secundaria, que permita describir las políticas, actividades y recursos asociados, incluyendo la identificación y priorización de oportunidades de diseño y mejoramiento, que permitan aumentar su eficiencia, productividad y satisfacción de las necesidades de los clientes.

Una vez se desarrolla el diagnóstico, se hace una priorización de las oportunidades de mejoramiento de la operación de recepción; esta priorización se lleva a cabo a partir de entrevistas y reuniones con el gerente general, el coordinador de logística, el jefe de despacho, los operarios del almacén de productos terminados y los consultores logísticos de la empresa.

3. Desarrollo del modelo de simulación discreta en ARENA 12® para la operación de recepción en la empresa de colchones

En esta etapa se desarrolla e implementa el modelo de simulación discreta en ARENA 12®

apoyado con diseño experimental el cual, permite representar, analizar y evaluar las oportunidades de mejoramiento identificadas y priorizadas para la operación de recepción, y permitirá alcanzar uno de los objetivos principales del estudio.

Para la implementación del modelo de simulación discreta, se utilizará el enfoque modular, el cual tiene como principal componente un estudio típico de simulación, extraído de la revisión de propuestas académicas de autores tales como: Obaidat²³, y Coss²⁴, y que incluye pasos tales como:

3.1 Objetivo del estudio de simulación. Utilizar el modelo de simulación discreta en ARENA 12® apoyado con diseño experimental para representar, analizar y evaluar el mejoramiento de la operación de recepción, con el fin de que éste aporte a la productividad, eficiencia o satisfacción de las necesidades de los clientes internos y externos.

3.2 Supuestos y características generales del modelo de simulación. La operación de recepción a modelar en la actualidad funciona de lunes a sábado de 7:00 a. m. a 3:00 p. m., con operación continua, es decir, el horario de almuerzos y pausas de los operarios se efectúa de manera programada. Para desarrollar el estudio se tienen en cuenta cuatro referencias de colchones, tales como: A: dimensiones 180*140 cm de cinco vueltas especial; B: dimensiones 180*140 cm de cinco vueltas sencillo; C: dimensiones de 180*100 cm de cinco vueltas sencillo y D: dimensiones de 160*140 cm de cinco vueltas sencillo. Los otros elementos a modelar son los recursos humanos y el equipo de manejo de materiales, los cuales se describen en la caracterización del modelo conceptual.

3.3 Modelo conceptual de simulación. Para elaborar el modelo conceptual, se hace una caracterización para la operación de recepción, que tiene un enfoque del mapa SIPOC (*Source, Input, Process, Output, Customer*) combinado con el uso del diagrama ANSI, lo cual, no solo facilita la representación de los proveedores, entra-

das, salidas, actividades y clientes de las diferentes operaciones, sino que se convierte en la base para implementar el modelo en el software ARENA 12® (ver tabla 1).

3.4. Implementación del modelo en el software de simulación ARENA 12®. Una vez diseñado el modelo conceptual, se elabora e implementa el modelo de simulación discreta en el software ARENA 12®, el cual contiene los módulos lógicos, de datos y programación, que permiten representar, analizar y evaluar las alternativas de mejoramiento de la operación de recepción, de tal manera que se establezcan políticas y se apoyen las decisiones que tiendan a una adecuada implementación del WMS con código de barras y RFID.

A continuación, se presenta el modelo de simulación discreta de la operación de recepción desarrollado en ARENA 12® (ver figura 2).

Adicionalmente, se debe indicar que el modelo propuesto intenta ser una imitación al sistema real y se basa en algunos supuestos que se utilizaron para desarrollar el modelamiento; por estos motivos el modelo fue verificado y validado, a través de actividades, tales como:

- Revisión y comparación del modelo elaborado en ARENA 12® respecto al modelo conceptual y caracterizaciones de cada una de las operaciones.
- Revisión y aprobación de las operaciones, recursos y resultados del modelo desarrollado por parte del personal del almacén, el investigador y los consultores de logística de la empresa. Además, se validaron los tiempos promedio actuales de recepción y cantidad de colchones que ingresan por día.

4. Utilización de diseño experimental para la evaluación de una alternativa de mejoramiento de la operación de recepción

En esta etapa se emplea la técnica de diseño experimental, apoyado con el uso del software Minitab 15®, con el fin de analizar y evaluar alternativas de diseño o mejora de la operación de recepción; se busca apoyar decisiones que permitan una adecuada implementación del WMS, el código de barras y el RFID, para alcanzar los objetivos planteados.

Tabla 1. Caracterización o mapa conceptual de modelo de simulación discreta

RECEPCIÓN										
Objetivo	Registrar, inspeccionar y registrar en el inventario los colchones provenientes de producción o devoluciones garantizando que estos cumplan con los criterios de la gestión de almacén de producto terminado	Responsable de la Operación:	Jefe del almacén de producto terminado							
Alcance	Cubre desde la recepción de los colchones pasando por la inspección hasta las decisiones relacionadas con el acomodo o devolución por no cumplir especificaciones para el almacenamiento									
Diagrama de procesos										
N°	Proveedor (Proceso)	Entrada (Información o Producto)	Actividades	Almacenamiento				Salida (Información o Producto)	Cliente (Proceso)	Responsable
				Operación	Transporte	Espera	Inspección			
			Se almacenan temporalmente lotes de 10 colchones antes de hacer la recepción			X		X		
			Verificación e inspección de los colchones ingresados al almacén, incluyendo el registro de sus referencias y cantidades				X		Acomodo	
1	Producción	Colchones terminados y empacados	En caso que los colchones tengan defectos de manufactura o problemas de marcado, se devuelven a producción		X			X	Preparación de pedidos	Operario de recepción y almacenamiento
			Traslado de los colchones que cumplen las condiciones de calidad y referencia desde el puesto de recepción hasta el acomodo						Registro de recepción de colchones (!)	
					X				Producción (En caso de devoluciones)	
Recursos utilizados										
			Operario de recepción, acomodo y almacenamiento							Cantidad de colchones recibidos
			Transpaleta manual							Cantidad de devoluciones de colchones en recepción
			Puesto de recepción							Tiempo promedio de recepción
										% Utilización de recursos

Fuente: Elaboración propia

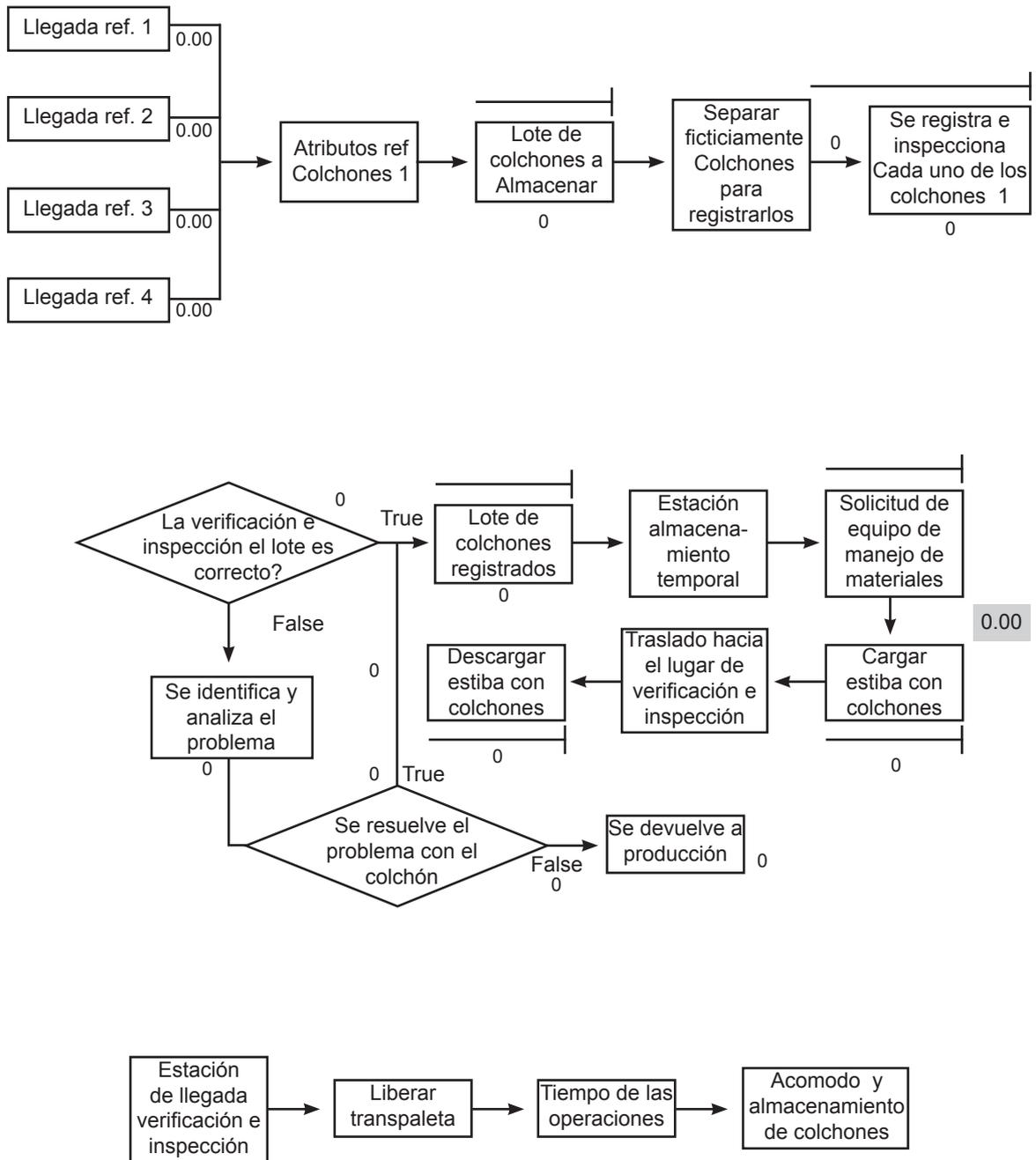


Figura 2. Modelo de simulación discreta en ARENA

Fuente: Elaboración propia

La metodología a utilizar para aplicar el diseño de experimentos se basa en la desarrollada por Montgomery²⁵, la cual cubre desde la identificación y definición de los objetivos del estudio pasando por la selección del diseño de experimentos y sus componentes, hasta el análisis estadístico de datos y conclusiones. Se debe indicar que el diseño experimental a desarrollar se considera como una etapa del estudio de simulación, y se encuentra alineado con la planificación maestra y la metodología para el diseño o mejoramiento de la gestión del almacén de productos terminados, y demás elementos desarrollados en la propuesta de aplicación en desarrollo.

4.1 Objetivo del diseño de experimentos.

Evaluar diferentes alternativas que permitan disminuir el tiempo promedio de las operaciones de recepción y acomodo,

incluyendo factores como: métodos o estrategias operativas y uso de sus recursos (WMS con código de barras y RFID, personal y equipo de manejo de materiales).

4.2 Variable respuesta. Tiempo promedio de recepción de colchones, medido en minutos.

4.3 Elección de factores y niveles. Esta etapa tiene como objetivo identificar y seleccionar los factores y niveles específicos que pueden tener un efecto significativo en la disminución de la operación de recepción en el almacén de producto terminado. Estos factores se eligen con base en recomendaciones identificadas en la literatura y experiencia empresarial.

A continuación, se representan los factores de interés y sus correspondientes niveles (ver figura 3).

Factores	Niveles		
Método de recepción(A)	Registro Manual(A1)		Registro con RFID(A2)
Cantidad de operarios en la operación de recepción (B)	Un auxiliar de recepción (B1)		Dos auxiliares de recepción (B2)
Equipo de manejo de materiales (C)	Transpaleta manual (C1)	Transpaleta eléctrica (C2)	Apilador eléctrico (C3)
Distancia entre recepción y acomodo	5 metros	7 metros	10 metros

Figura 3. Diagrama de operación, factores y niveles.

Fuente: Elaboración propia

4.4 Elección del diseño experimental. A partir del análisis de diferentes tipos de diseños experimentales como factoriales generales, con bloques, 2^k completos y 2^{k-p} fraccionados, diseños robustos, anidados

y parcelas divididas, se toma la decisión de utilizar un factorial completo con cuatro factores, treinta y seis combinaciones de tratamientos y cuatro réplicas ($2^2 3^2 * 2$), el cual tiene el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijkln} = \mu + \tau_i + \beta_j + \alpha_k + \omega_l + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\alpha)_{ik} + (\tau\omega)_{il} + (\beta\alpha)_{jk} + (\beta\omega)_{jl} + (\alpha\omega)_{kl} + \varepsilon_{ijkl}$$

μ : Tiempo promedio total de recepción; τ_i : Efecto debido al i-ésimo nivel del factor método de recepción, β_j : Efecto debido al j-ésimo nivel del factor cantidad de operarios, α_k : Efecto debido al j-ésimo nivel del factor equipo de manejo de materiales; ω_l : Efecto debido al l-ésimo nivel

del factor distancia; $(\tau\beta)_{ij}$: efecto de la interacción de los factores de método de recepción y operarios; $(\tau\alpha)_{ik}$: efecto de la interacción de los factores de método de recepción y equipo de manejo de materiales; $(\tau\omega)_{il}$: efecto método de recepción y distancia; $(\beta\alpha)_{jk}$: efecto operarios y

equipo de manejo de materiales; $(\beta\alpha)_{jk}$: efecto operarios y distancia; $(\alpha\omega)_{kl}$: efecto equipo de manejo de materiales y distancia, y ε_{ijkl} : Error aleatorio que sigue distribución normal y varianza constante.

4.5 Realización del experimento. En esta etapa, se planea, organiza y se realizan los experimentos. Por estos motivos, se incluyen aspectos, tales como: estructura de los datos, plan de experimentación y su corrida en el modelo de simulación discreta desarrollado en ARENA 12®.

La estructura de datos Y_{ijkln} permite representar cada una de las observaciones que conforman el experimento, donde i corresponde al factor de método de recepción (A); j , al factor cantidad de operarios en la recepción (B); k , al factor tipo de equipo de manejo de materiales (C); distancia entre el puesto de recepción y la posición de almacenamiento (D), y n , al número de las observaciones.

El plan de experimentación que se propone tiene 36 combinaciones de tratamientos con cuatro réplicas para un total de 144 corridas de experimentación, las cuales se representan y evalúan en el modelo de simulación discreta en ARENA 12®.

De otra parte, para ejecutar el plan experimental utilizando el modelo de simulación discreta, se establece la condición que para cada réplica de experimentación, se reinicialice el sistema y sus estadísticas, con el fin de garantizar la independencia y confiabilidad de los resultados.

4.6 Análisis estadístico de los datos y conclusiones. Una vez ejecutado el diseño factorial completo de cuatro factores y obtenidos los datos de las corridas experimentales, se procede a su análisis estadístico, con el fin de apoyar las decisiones de diseño y mejoramiento de la operación de recepción, y disminuir su tiempo promedio total. En la etapa de resultados y discusión, se presenta con detalle el análisis estadístico.

Dentro de los análisis estadísticos realizados se encuentra la ANOVA y el análisis

gráfico de los efectos principales e interacciones dobles de los factores en estudio, lo cual es crítico para apoyar las decisiones de mejora. Adicionalmente, se aplican las pruebas gráficas y analíticas de normalidad, varianza constante e independencia de los residuos.

5. Conclusiones y propuestas de mejora de la operación de recepción

En esta última etapa se presentan las recomendaciones de mejora a la operación de recepción, basadas en el análisis de los resultados obtenidos de la simulación discreta y el diseño experimental.

Resultados

Una vez se ejecuta el diseño de experimentos factorial completo en Minitab 15 ® utilizando a los resultados del modelo de simulación discreta de la operación de recepción en ARENA 12®, se obtiene la ANOVA y el gráfico de efectos principales e interacciones dobles, los cuales permiten apoyar las decisiones de mejoramiento que permitan disminuir el tiempo promedio de recepción.

Para probar cada una de las hipótesis de los efectos principales e interacciones dobles que entrega la ANOVA calculada, se utiliza como criterio de rechazo del valor p , el cual, se compara respecto a una significancia o error de $\alpha=0.05$. Cabe recordar que las interacciones triples y cuádruples no se analizan, debido a que no presentan un aporte práctico a las conclusiones (ver tabla 2).

A partir del análisis y del gráfico (ver figura 4 y figura 5) de los efectos principales y las interacciones dobles de los factores, se puede indicar que estadísticamente el factor principal con mayor significancia sobre la variable respuesta tiempo promedio de recepción, corresponde al método de recepción, seguido en orden de importancia por la cantidad de operarios, equipo de manejo de materiales y distancia entre puesto de recepción y posición de almacenamiento. Adicionalmente, se puede indicar que en las interacciones dobles, donde está presente el método de recepción con la cantidad de operarios (AB), el tipo de equipo de manejo

de materiales (AC), y la distancia (AD), el tiempo promedio de esta operación es de 3 minutos aproximadamente, lo cual mejora el tiempo actual que se encuentra en 30 minutos.

Para garantizar la validez de los resultados de la ANOVA, y para apoyar las decisiones de mejora, se probarán los supuestos de normalidad, varianza constante e independencia sobre los residuos del modelo (e_{ijkl}):

- Se acepta el supuesto de normalidad, ya que los residuos se alinean a la recta de probabilidad. Por su parte, en el método analítico, se utiliza la prueba de Shapiro

Wilks, cuyo valor p es mayor a >0.10 , por lo cual se considera significativo, validando el cumplimiento de normalidad de los residuos.

- Se acepta el supuesto de varianza constante ya que la prueba de Levene, tiene un valor p de 0.767, el cual, es mayor al criterio de rechazo de 0.05 (5%),
- Se puede concluir el cumplimiento del supuesto de independencia, ya que la gráfica de residuos contra el orden de observación presenta un comportamiento aleatorio, es decir, sin patrones ascendentes o descendentes definidos (ver figura 6).

Tabla 2. ANOVA de proceso de recepción

Fuente	GL	SC sec	SC ajust.	MC ajust.	F	P
Mrecep	1	10545,47	10545,47	10545,47	110978,15	0,000
Opera	1	3007,58	3007,58	3007,58	31651,08	0,000
EMMaterial	2	43,18	43,18	21,59	227,23	0,000
Distan	2	12,40	12,40	6,20	65,27	0,000
Mrecep*Opera	1	2891,22	2891,22	2891,22	30426,53	0,000
Mrecep*EMMaterial	2	17,30	17,30	8,65	91,05	0,000
Mrecep*Distan	2	7,42	7,42	3,71	39,06	0,000
Opera*EMMaterial	2	0,35	0,35	0,18	1,87	0,159
Opera*Distan	2	3,52	3,52	1,76	18,53	0,000
EMMaterial*Distan	4	2,72	2,72	0,68	7,16	0,000
Error	124	11,78	11,78	0,10		
Total	143	16542,97				

Fuente: Elaboración propia, Minitab 15 ®

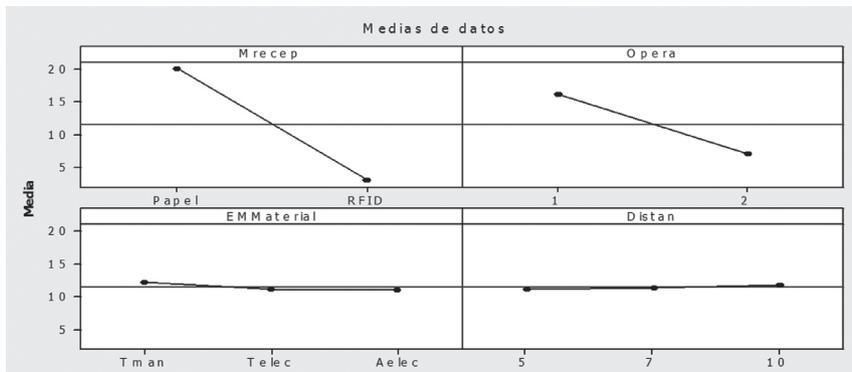


Figura 4. Gráfica de efectos principales para tiempo promedio de recepción

Fuente: Elaboración propia, Minitab 15 ®

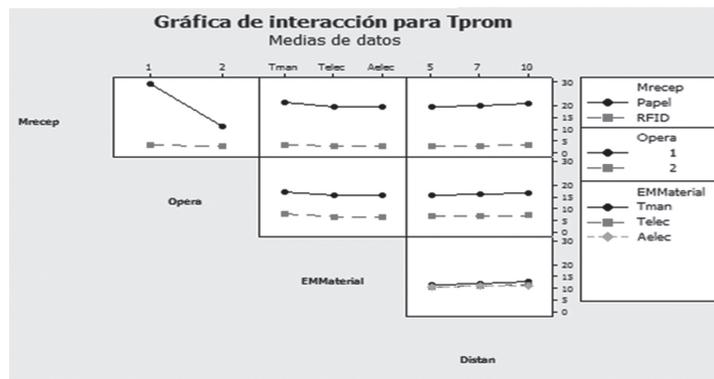


Figura 5. Gráfica de efectos de las interacciones dobles para Tiempo Promedio de Recepción.

Fuente: Elaboración propia, Minitab 15 ©

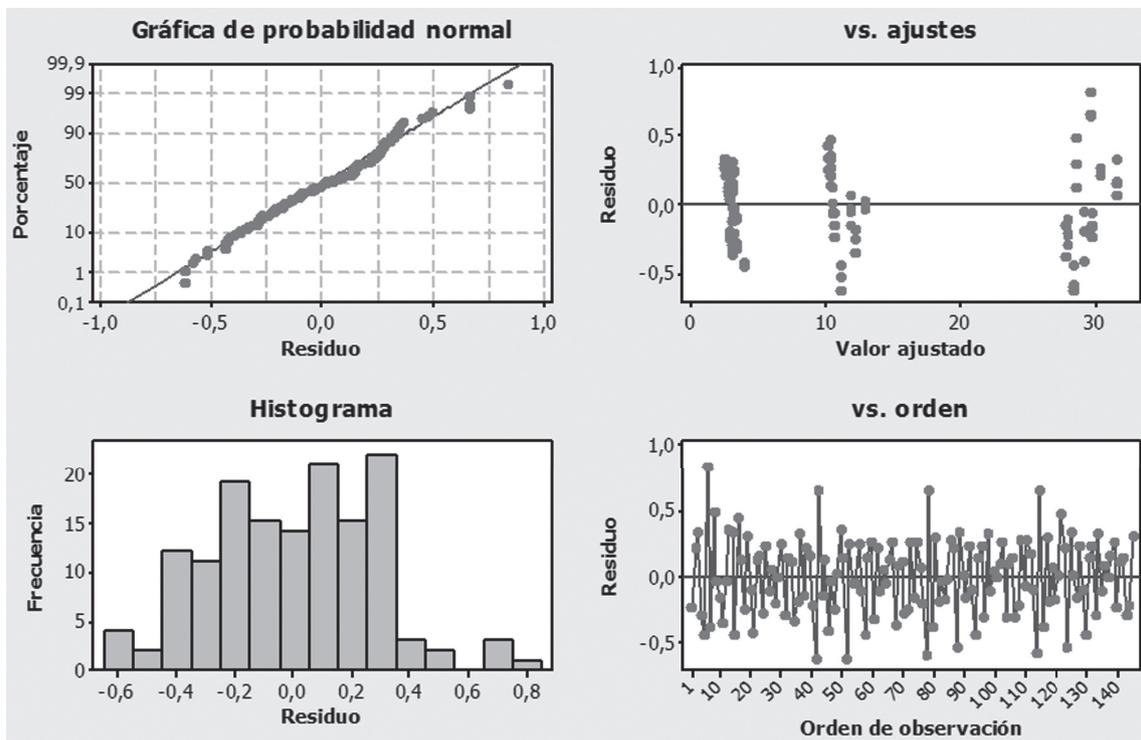


Figura 6. Gráfica de residuos para Tiempo promedio de operaciones.

Fuente: Elaboración propia, Minitab 15 ©

Discusión

Una vez realizada la representación y análisis de la operación de recepción de la gestión del almacén de producto terminado de la empresa de colchones a través del modelo de simulación discreta, y planeado, realizado y analizado el diseño factorial completo, que permitió evaluar si los factores: método de recepción, cantidad de operarios, equipo de manejo de materiales y distancia entre el puesto de recepción y posición de almacenamiento tenían efecto significativo sobre el tiempo promedio total de la operación en estudio, se obtuvo que:

- Del análisis ANOVA, se puede indicar que las interacciones dobles: método de recepción* operarios(AB), método de recepción* equipo de manejo de materiales (AC), método de recepción* distancia (AD), cantidad de operarios* distancia (BD) y equipo de manejo de materiales* distancia (CD) tienen un efecto significativo sobre el tiempo promedio total de la operación de recepción; de allí, la importancia de analizar sus diferentes niveles para apoyar las decisiones de diseño y mejoramiento. Aunque los efectos principales de los factores de interés son significativos, para realizar el análisis solamente se consideran las interacciones dobles, ya que los primeros pueden enmascarar u ocultar los segundos, lo cual puede conducir a que las conclusiones de diseño y

mejora sean inválidas o no acertadas para apoyar las decisiones en la operación de recepción.

- Del análisis de las interacciones dobles entre los factores equipo de manejo de materiales con el método de recepción (ver figura 5), se identifica que utilizar los niveles de transpaleta manual, transpaleta eléctrica o apilador eléctrico, con un método de recepción utilizando RFID, permite disminuir el tiempo promedio total de recepción de 30 a 5 minutos aproximadamente, utilizando cualquiera de los tres equipos de manejo de materiales. Por estos motivos, se sugiere a la empresa que implemente el RFID, y siga utilizando la transpaleta manual para evitar inversiones innecesarias.
- En lo relacionado con la cantidad de operarios (B) considerando la interacción con el método de recepción utilizando RFID (A2), se puede indicar que esta operación debe mantener un solo operario como en la actualidad, ya que estadísticamente, se observa que incluir un segundo no tendría impacto en la disminución del tiempo promedio de recepción, pero sí aumentaría los costos mensuales logísticos de la empresa en aproximadamente \$803.400 por mes.

A continuación, se presenta un cuadro comparativo entre el escenario actual de la operación de recepción respecto a la alternativa propuesta (ver tabla 3).

Tabla 3. Comparación de escenario actual y propuesto

Factores	Escenario o alternativa actual	Alternativa propuesta
Método de recepción	Manual o basado en papel	RFID
Cantidad Operarios	1	1
Equipo de Manejo de Materiales	Transpaleta Manual	Transpaleta Manual
Distancia	5 metros	10 metros
Tiempo promedio de operación	30 minutos	5 minutos
Inversiones	Ninguna	\$ 20 millones

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

De la revisión del estado del arte, se puede indicar que la simulación discreta y el diseño experimental aplicados en el mejoramiento de las operaciones y recursos de la gestión de almacenes no solo son un enfoque que hace parte de la agenda de investigación actual del tema, sino también pueden considerarse como herramientas que permiten aumentar las capacidades de modelamiento y apoyo a la toma de decisiones. En cuanto al diseño experimental, se revisaron y validaron las ventajas que trae su utilización respecto a los métodos de experimentación basados en ensayo y error que predominan en la mayoría de los artículos revisados.

De la aplicación de la metodología de diseño y mejoramiento de la operación de recepción basado en simulación discreta y diseño de experimentos en la empresa mediana de colchones, se puede indicar que esta permitió disminuir el tiempo promedio de 30 a 5 minutos aproximadamente, incluyendo el análisis del impacto inversiones necesarias, que conduzcan al uso adecuado de recursos (personal y equipo de manejo de materiales), instalaciones e implementación de TIC (WMS, código de barras y RFID), lo cual impacta en la productividad de la gestión del almacén de producto terminado de la compañía. Además, con la aplicación de la metodología, se hace una propuesta de investigación aplicada para que las empresas aumenten su capacidad de representación y análisis de las operaciones de la gestión de almacenes durante su análisis y mejoramiento en la toma de decisiones.

Finalmente, como trabajo futuros, se pretende aumentar las capacidades de diseño y mejoramiento de la operación de recepción utilizando herramientas de *lean manufacturing* (manufactura esbelta), seis sigma, diseño de experimentos y metaheurísticos, los cuales deben llevar a mejorar el uso de recursos y contribuir al incremento de la satisfacción de las necesidades de los clientes desde este proceso logístico. Además, se busca ampliar su aplicación a las diferentes operaciones y recursos del almacén de producto terminado.

Referencias

1. BAKER, Peter y HALIM, Zaheed. An exploration of warehouse automation implementations: cost, service and flexibility issues. En: Supply Chain Management: An International Journal. January 2007. Vol.12, no.2, p 129 – 138.
2. MIN, Hokey. Application of a decision support system to strategic warehousing decisions. En: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. March 2009. Vol.39. no.4, p 270 – 281.
3. TOMPKINS, James y HARMENLINK, Dale. The Supply Chain Management Handbook. The United States: Tompkins Press, 2004. p. 191.
4. GU, Jinxiang; GOETSCHALCKX, Marc y MCGINNIS. Research on warehouse operation: A comprehensive review. En: European Journal of Operational Research. July 2007. Vol. 177, no.1, p 1-21.
5. VAN DEN BERG, Jeroen. Integral Warehouse Management: The Next Generation in Transparency, Collaboration and Warehouse Management Systems. The Netherlands: Lulu, 2007. 45 p.
6. FRAZELLE, Edward. Supply chain strategy: the logistics of supply chain management. The United States: McGraw-Hill Professional, 2002.10 p.
7. VAN DEN BERG, Jeroen y ZIJM, W. H. Models for warehouse management: Classification and examples. En: International Journal of Production Economics, December 1999. Vol. 59, no.1, p. 519-528.
8. ROUWENHORST, B.; et al. Warehouse design and control: Framework and literature review. En: European Journal of Operational Research. May 2000. Vol.122, no.3, p. 515-533.
9. HASSAN, Mohsen. A framework for the design of warehouse layout. En: Facilities. December 2002. Vol. 20, no.13, p. 432 – 440.
10. BAKER, Peter. Aligning Distribution Center Operations to Supply Chain Strategy. En: The International Journal of Logistics Management. July 2006. Vol. 15, no. 1, p. 111 – 123.
11. HUERTAS, Jose Ignacio; DIAZ, Jenny y TRIGOS, Federico. Layout evaluation of large capacity warehouses. En: Facilities. June 2007. Vol. 25, no.7, p. 259 – 270.
12. BAKER, Peter, y CANESSA Marco. Warehouse design: a structured approach. En: European Journal of Operational Research. July 2009. Vol.193, no.2, p 425-436.

13. GU, Jinxiang; GOETSCHALCKX, Marc, y MCGINNIS. Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review. En: European Journal of Operational Research. July 2010. Vol. 203, no.3, p 539-549
14. ZHOU, Ming; SETAVORAPHAN, Kitti y CHEN, Zhimin. Conceptual simulation modeling of warehousing operations. En: Proceedings of the conference on winter simulation, Orlando (37: 14, july:Orlando). Memorias. Orlando: Winter Simulation, 2005, p. 1621-1626
15. ONGO, Bhakti; MADEN, Will y GUNAL, Murat. The Conceptual model of Distribution Warehouse Simulation. Lancaster: Lancaster University Management School, 2008.12 p.
16. MULLER, Daniel. AS/RS and warehouse modeling. En Proceedings of the conference on winter simulation, Orlando (21: 09, December: Washington). Memorias. Washington: Winter Simulation, 2008. p. 802-810.
17. TAKAKUWA, Soemon; *et al.* Simulation and analysis of non-automated distribution warehouses. En: Simulation Conference Proceeding. Winter, 2000. P. 1177-1184.
18. GOPAKUMAR, Balagopal; *et al.* A simulation based approach for dock allocation in a food distribution center. En Proceedings of the conference on winter simulation, Orlando (40: 07, December :Orlando). Memorias. Orlando: Winter Simulation, 2008. p. 2750-2755.
19. CHIN, Shih; PONTES, Heráclito y PORTO, Arthur. Retrieving process analysis in a parts distribution center: a case study of manual trolley fleet substitution. En Proceedings of the conference on winter simulation, Orlando (37: 14, july: Orlando). Memorias. Orlando: Winter Simulation, 2005. p. 1-15
20. EKREN, Banu; *et al.* Simulation based experimental design to identify factors affecting performance of AVS/RS. En: *Computers & Industrial Engineering*. September 2010. Vol. 58, no.1, p. 175-185, 2010
21. GÓMEZ, Rodrigo. Desarrollo de modelo para apoyar el diseño o mejoramiento de las operaciones y recursos de la gestión de almacenes basados en simulación discreta y diseño experimental. Tesis de Maestría. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, 2010.125 p.
22. GÓMEZ, Rodrigo. Op. Cit.; 125 p.
23. OBAIDAT, Mohammad y PAPADIMITRIOU, Gorgios. Applied System Simulation: Methodologies and Applications. The Norwell: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 9
24. COSS, Raúl. Simulación: un enfoque práctico, Madrid: Limusa, 2005. p. 32
25. MONTGOMERY, Douglas. Design and analysis of experiments. 7ª ed. The United States: Wiley, 2008. 680 p.