

# Reestructuración del layout de la zona de picking en una bodega industrial

## Layout Restructuration of the Picking Area in an Industrialwarehouse

Martín Darío Arango Serna<sup>a</sup>, Julian Andres Zapata C.<sup>b</sup>, Jorge Isaac Pemberthy<sup>d</sup>

### PALABRAS CLAVES

Almacén, layout, picking, ruteo, simulación.

### RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo presentar una propuesta orientada al mejoramiento de los procesos de distribución y picking en la bodega de una empresa del sector industrial. Presenta inicialmente el marco teórico y la problemática, y finaliza con la presentación del caso empresarial objeto de estudio. Las actividades relacionadas con el almacenamiento de materiales son las que más interfieren en los costos logísticos totales en una empresa o cadena de suministro. Una de las actividades primordiales para intentar reducir los costos operativos es la optimización de los espacios requeridos en el almacenamiento. La finalidad del estudio radica principalmente en la disminución de los tiempos de preparación de pedido para lograr una mejora en el servicio y en la reducción del área destinada al almacenamiento para mitigar los costos de operación.

### KEY WORDS

Warehouse, layout, picking, routing, simulation.

### ABSTRACT

The main objective of this paper is to present a proposal aimed at improving the distribution and picking processes in a warehouse of an industrial company. Initially, it outlines the theory and problem to be solved, and concludes with a description of a case study. Warehousing activities affect the total logistics costs of a company or supply chain most; thus, optimizing the required spaces for warehousing is one of the most important activities when attempting to reduce operative costs in a company. The purpose of this study is to reduce the time required for picking activities and, therefore, obtain an improvement in the service and a reduction of the area used in the warehouse, which leads to cost reductions.

a Ph.D. Profesor titular, Facultad de Minas Escuela Ingeniería de la Organización, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. ✉ [mdarango@unalmed.edu.co](mailto:mdarango@unalmed.edu.co)

b Ingeniero Químico. Magíster en Ingeniería Administrativa. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. ✉ [jazapat1@unalmed.edu.co](mailto:jazapat1@unalmed.edu.co)

c Ingeniero Industrial. Estudiante de Maestría en Ingeniería Administrativa. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia ✉ [jjpemberthy@unalmed.edu.co](mailto:jjpemberthy@unalmed.edu.co)

## INTRODUCCIÓN

A medida que más empresas buscan reducir costos y mejorar la productividad dentro de sus almacenes y centros de distribución, las operaciones de recogida de productos en el almacén para el cumplimiento de ordenes (picking) han sido objeto de mayor escrutinio. Debe tenerse en cuenta que éste es uno de los procesos con mayor intensidad de mano de obra en la operación de almacenes con sistemas manuales y muy intensivo en capital en la operación de almacenes con sistemas automatizados [1, 2]. Por estas razones, los profesionales en los sistemas de almacenamiento consideran la labor de picking como la de más alta prioridad para la mejora de la productividad. Varias tendencias recientes, tanto en la fabricación y distribución, han hecho de la labor de picking una de las actividades más importantes y complejas. En el presente artículo se exponen los principales componentes básicos para el diseño de layout de un almacén destinado al proceso de picking en una bodega industrial. Inicialmente, se presenta el marco teórico que abarca el proceso de diseño y reestructuración de almacenes y bodegas industriales, continuando con el planteamiento del problema y la presentación de los modelos matemáticos; finalmente, las simulaciones realizadas para la resolución de dicha problemática.

## MARCO TEÓRICO

En la industria moderna hay un movimiento hacia los pequeños tamaños de lotes y puntos de entrega, hacia el orden y la personalización del producto, y el ciclo de reducciones del tiempo. En la logística de distribución, con el fin de servir a los clientes, las empresas tienden a aceptar las órdenes de pedido y cumplirlas en ventanas de tiempo muy reducidas (por lo que el tiempo disponible para la preparación y para la expedición se reduce). En estos almacenes, el volumen diario de selección es grande y la ventana de tiempo disponible es corta.

Según Ashayeri & Gelders [2] y De Koster et al. [3], el objetivo más común de los sistemas de administra-

ción del área de recogida de productos en el almacén para el cumplimiento de ordenes (picking) es maximizar el nivel de servicio con sujeción a las limitaciones de recursos, tales como mano de obra, máquinas y capital [2, 3]. El objetivo más común de los sistemas de picking es maximizar el nivel de servicio, minimizando las distancias por recorrer, con sujeción a las limitaciones de recursos, tales como: mano de obra, máquinas y capital [2]. Reducir al mínimo el tiempo para la recuperación (o el tiempo de picking) es, por tanto, una necesidad para cualquier sistema de recolección. Los tiempos de viaje suelen ser el elemento dominante en los consumos de tiempos de las operaciones de picking. Según Bartholdi y Hackman [3] este parámetro es un primer candidato para la mejora en cualquiera de estos tipos de sistemas. Reducir al mínimo la distancia media de viaje (o, equivalentemente, la distancia total de recorrido) es sólo una de muchas posibilidades de optimización. Otro objetivo importante sería minimizar el costo total (que puede incluir tanto la inversión y como los gastos operacionales). Otros objetivos que a menudo son tenidos en cuenta en el diseño y optimización del almacén son los siguientes [4]:

- Minimizar el tiempo de operación
- Minimizar los gastos de tiempo en la realización de una orden
- Maximizar el uso del espacio
- Maximizar el uso de los equipos
- Maximizar el uso de la mano de obra
- Maximizar la accesibilidad a todos los artículos

En el contexto del picking, para el diseño de la distribución del almacén, se deben abarcar dos sub-problemas: el diseño de las instalaciones para el proceso de picking y el diseño del sistema de picking. El primero se suele denominar el problema de diseño de la instalación, que se refiere a la decisión de dónde ubicar físicamente los distintos departamentos (recepción, picking, almacenamiento, clasificación). A menudo tiene en cuenta la relación entre la actividad de los departamentos. El objetivo común es reducir al mínimo los costes de manipulación, que en mu-

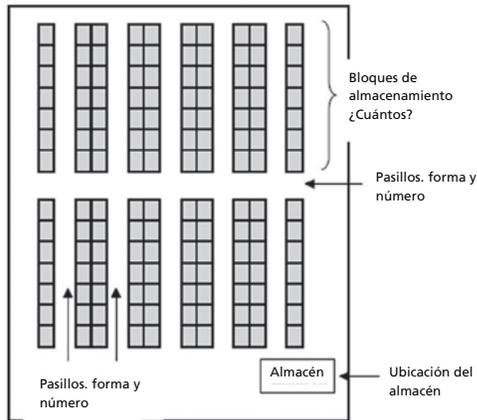


Figura 1. Decisiones típicas del diseño de almacenes [4].

chos casos está representado por una función lineal de la distancia recorrida. El segundo trata sobre lo que también se puede llamar el diseño interior o problema de los pasillos de configuración. Se refiere a la determinación del número de bloques y el número, la longitud y la anchura de los pasillos en cada bloque de una zona de picking (Figura 1). El objetivo común es encontrar una mejora en el diseño del almacén con respecto a una determinada función objetivo entre los diseños que se ajustan a un determinado conjunto de limitaciones y requisitos. Una vez más, la función objetivo común es la distancia de recorrido [4].

Bassan [5] compara dos formas de diseño con los pasillos en paralelo, evaluando la reducción de los costos por manipulación y diseño. Rosenblatt and Roll [6], utilizando métodos analíticos y de simulación, estudian el efecto de las políticas de almacenamiento y explican cómo asignar los productos a las locaciones de almacenamiento sobre el diseño interno del almacén. Rosenblatt y Roll [6] también examinan los efectos de las demandas estocásticas y los diferentes niveles de servicio basados en el diseño y capacidad de almacenamiento. De la misma forma, Roodberg y De Koster [7, 8] proponen una función objetivo no lineal (promedio de los tiempos de viaje en términos del número de recogidas por ruta y pasillos) con el propósito de determinar la configuración de los pasillos para almacenamiento aleatorio que minimiza el promedio de las distancias recorridas. Igualmente, consideran-

do como objetivo fundamental la minimización de las distancias recorridas, Caron [9] considera una distribución de dos bloques en el almacén utilizando la metodología COI, basada en la distribución del almacén. Petersen [10] muestra, usando simulación, el efecto de la longitud y el número de pasillos en los tiempos de recorrido. Es importante anotar que mucha de la literatura que trata el tópico de diseño de distribución de almacenes está consolidada en la página web de Erasmus-Logística [11].

#### PROBLEMA DE ESTUDIO

La obligación de las empresas de obtener los costos de producción más bajos posibles para obtener mayores beneficios, conlleva a una optimización de los recursos empleados en todas las operaciones que así lo permiten. Una actividad que siempre es susceptible al estudio de optimización de los recursos, y por supuesto direccionado a reducir costos, es la zona de almacenamiento de la empresa y con ello el sistema de recogida de ordenes (picking) inmerso en el mismo [12]. El diseño y el tiempo de recorrido en la operación de picking corresponden a cerca del 60% de los costos de dicha actividad, por lo cual es apenas lógico buscar una reducción de los recursos y del espacio utilizado para la misma.

Este artículo se centra en la necesidad de optimizar la operación y los costos del picking, como una alternativa para obtener mejores beneficios a través del mejoramiento de operaciones, con la firme intención de disminuir costos y obtener una ventaja competitiva en el mercado industrial manufacturero, en el cual interactúa la empresa de estudio. Con base en lo anterior, se pretende encontrar una distribución de los estantes del almacén y de los tiempos de respuesta al cumplimiento de las órdenes, para reducir el espacio y los recursos de personal y físicos requeridos para la actividad de picking. Se espera lograr así una optimización de dichos recursos y un mejoramiento en el servicio prestado por el almacén, a raíz de la disminución del tiempo de respuesta obtenido.

El almacén de picking que se va a estudiar presenta las siguientes características: 1) Es un una bodega industrial con distribución en bloques en línea recta. 2) Los pasillos no son los suficientemente amplios, por lo cual no se permite tránsito en doble sentido obligando a un sistema en forma de S. 3) Para la recolección de los pedidos, se cuenta con un recurso humano de siete (7) personas, las cuales toman las órdenes de pedido e inmediatamente proceden a su recolección y posterior vuelta a la zona de pedido. 4) Una característica fundamental del sistema es el nivel de servicio que debe prestar el almacén, ya que un proceso de picking de menor tiempo de respuesta puede contribuir a una reducción significativa de los tiempos y de las operaciones de procesos posteriores al almacén en la cadena de suministros de la compañía.

**OPTIMIZACIÓN DEL ALMACÉN**

A continuación se presenta un método de distribución de los estantes del almacén que hace posible mejorar el sistema de recogida de órdenes (zona de picking), para lo cual lo primero que debe determinarse es si la distribución actual del almacén corresponde a una distribución más apropiada. Para lograr lo anterior, se estudia el modelo propuesto por Bassan [5], el cual incluye como función objetivo la determinación del número óptimo de espacios y de estantes necesarios para el almacenamiento, buscando minimizar las áreas y espacios requeridos, así como las dimensiones óptimas del almacén en cuanto a longitud y ancho del mismo. Para este modelo, se utilizan técnicas matemáticas exactas que permiten encontrar la mejor solución. El modelo desarrollado por Bassan [5] está limitado a una serie de suposiciones, las cuales se ajustan correctamente al caso de estudio aquí presentado. Dichas suposiciones son: 1) Los materiales son almacenados en estantes dobles con acceso en ambos lados, excepto para aquellos estantes adjuntos a las paredes del almacén, los cuales son de un solo lado. 2) La instalación del almacén es de forma rectangular. 3) Hay amplios pasillos entre los estantes y a lo largo de las

paredes, los cuales facilitan la inspección, cumplir con los requerimientos de seguridad, etc. 4) Los materiales son puestos en el almacén a través de una puerta (o puertas) ubicada en el centro de una pared del almacén y son retirados por una pared en el lado contrario. 5) La altura de los estantes y el número de niveles para la colocación de los estantes son independientes de la distribución de los estantes con respecto al piso.

Los esquemas utilizados para la distribución de estantes en un almacén o bodega sugeridos por Bassan [5] son dos, tal como se muestran en la Figura 2. La propuesta de distribución (a) en la Figura 2, corresponde a una distribución lineal de los estantes. La segunda propuesta de distribución (b) corresponde a estantes en paralelo, en medio de los cuales se encuentra un pasillo.

Bassan [5] establece las ecuaciones para determinar el número de estantes, espacios adecuados, así como las dimensiones óptimas en cuanto a ancho y largo para cada distribución propuesta, tal como se muestra en la Tabla 1. La nomenclatura asociada a las ecuaciones de la Tabla 1 es la siguiente:

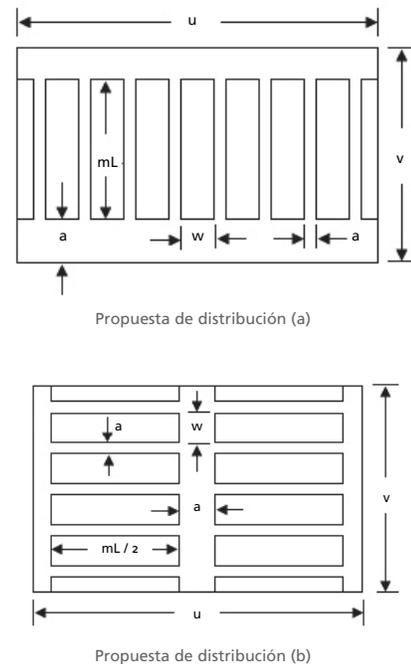


Figura 2. Distribución propuesta del almacén. (a) Distribución lineal simple. (b) Distribución lineal doble [12]

- $W$  = Ancho de los estantes dobles (ft)  
 $L$  = Longitud del espacio requerido de almacenaje. e.g. ancho del palé (ft)  
 $m$  = Número de espacios de almacenaje a lo largo del estante  
 $h$  = Número de niveles de almacenaje en dirección vertical  
 $n$  = Número de estantes dobles  
 $K$  = Capacidad total del almacén en espacios de almacenaje  $K = 2nmh$   
 $a$  = Ancho de los corredores (ft)  
 $v$  = Ancho del almacén  
 $d$  = Flujo anual (demanda) del almacén (Ítems/año)  
 $Ch$  = Costos del manejo de materiales por pie (USD/ft)  
 $Cs$  = Costo anual por unidad del área de almacenamiento (USD/ft<sup>2</sup>)  
 $Cp$  = Costo anual por unidad de longitud de las paredes externas (USD/ft)

Layout	Distribución propuesta del almacén (a)	Distribución propuesta del almacén (b)
Número óptimo de espacios	$m_a = \frac{1}{L} \sqrt{\left[ \frac{dCb + 2aCs + 2Cp}{2(dCb + Cp)} \right] \left[ \frac{K(w+a)L}{2b} \right]}$	$m_b = \frac{1}{L} \sqrt{\left[ \frac{2dCb + 3aCs + 2Cp}{dCb + 2Cp} \right] \left[ \frac{K(w+a)L}{2b} \right]}$
Número óptimo de estantes	$n_b = \frac{1}{w+a} \sqrt{\left[ \frac{2(dCb + Cp)}{dCb + 2aCs + 2Cp} \right] \left[ \frac{K(w+a)L}{2b} \right]}$	$n_b = \frac{1}{w+a} \sqrt{\left[ \frac{dCb + 2Cp}{2dCb + 3aCs + 2Cp} \right] \left[ \frac{K(w+a)L}{2b} \right]}$
Longitud óptima	$u_a = n_a * (w + a)$	$u_b = 3a + m_2 * L$
Ancho óptimo	$v_a = 2a + m_1 * L$	$v_b = n_b * (w + a)$

Los subíndices a y b corresponden a la distribución propuesta del almacén (a) y (b) respectivamente.

Tabla 1. Ecuaciones del modelo de Bassan [5]

Factor	Distribución (a)	Distribución (b)	Real	% de ahorro distribución (a)	% de ahorro distribución (b)
m* (ítems)	40	48	44	10%	8%
n* (estantes)	6,0	5,0	5	20%	0%
u (m)	37	45	47	21%	5%
v (m)	36	31	33	10%	4%
Área (m <sup>2</sup> )	1342	1401	1537	13%	9%

Tabla 2. Resultados finales del modelo

Distribución	Actual	Óptima (a)
Tiempo del pedido en el sistema (seg.)	120.6	107.4

Tabla 3. Resultados obtenidos en la simulación

**APLICACIÓN DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN**

Aplicando el modelo proporcionado por Bassan [5] al sistema actual del área de picking y ajustando los resultados de número de estantes a números enteros y comparándolo con datos actuales (real) se obtienen los resultados consignados en la Tabla 2.

De la Tabla 2 se observa que la reducción en el área del almacén es del 13% y del 9% utilizando las distribuciones propuestas (a) y (b) respectivamente. La distribución del almacén, según la distribución propuesta (a), debe cambiar de 5 a 6 estantes, se almacenan entonces no 44 productos sino tan solo 40 unidades a lo largo de cada nivel y se reduce la longitud de cada estante. La distribución (b) sugiere ubicar 5 estantes paralelos (con un pasillo en el medio), tal como se observa en la Figura 2 (b), y a lo largo de éstos se deben ubicar 48 productos, lo que significa 24 en cada división del mismo. Este valor se ajusta a la teoría de la distribución propuesta, la cual asegura que cuando  $C_p/C_h > d$ , el arreglo a produce mayor ahorro que la distribución propuesta (b) (para nuestro caso  $C_p/C_h = 225.317$  y  $d = 1095.00$ ).

**EVALUACIÓN DE LOS TIEMPOS DE RECORRIDO – SIMULACIÓN DEL PROCESO**

Del apartado anterior, es claro que la distribución que mayor ahorro de espacio produce es la que corresponde al layout (a) del modelo de Bassan [5]; por lo tanto, esta distribución y la actual del almacén de picking son simuladas para determinar el tiempo de recogida de ordenes en dicho almacén. Inicialmente, con

el modelo de simulación, se buscó la distribución de probabilidad de generación de pedidos, la cual resultó tener un comportamiento exponencial con media 0,435 min; es decir, en promedio se genera un pedido cada 0,435 minutos. Luego se realizó la simulación con las dos distribuciones propuestas (distribución actual y distribución propuesta (a) [5]), por medio del software Arena 11.00 de la casa Rockwell software. Los resultados obtenidos en las dos distribuciones del almacén se consignan en la Tabla 3, donde el tiempo de recorrido calculado con la distribución óptima se disminuye en 13.2 segundos y el tiempo de recogida de orden utilizando la distribución actual, lo cual significa un ahorro del 12.3%, resultado conforme con el ahorro físico, producto del modelo de Bassan [5].

En la Figura 3 (a) se muestra la distribución del simulador que corresponde al diseño actual del área de picking de la bodega. De la misma manera, en la Figura 3 (b) se muestra la distribución óptima en el mismo software.

**CONCLUSIONES**

Adoptar la nueva distribución de los estantes de la sección de picking en almacén de estudio, sugerida por la propuesta (a) de Bassan [5], se logra obtener un ahorro tanto físico, como económico, además de una mejora en la eficiencia del sistema de distribución y de picking de dicho almacén. Aunque los ahorros económicos no son de mucha cuantía, si se extrapolan a las demás áreas de servicio pertenecientes a la

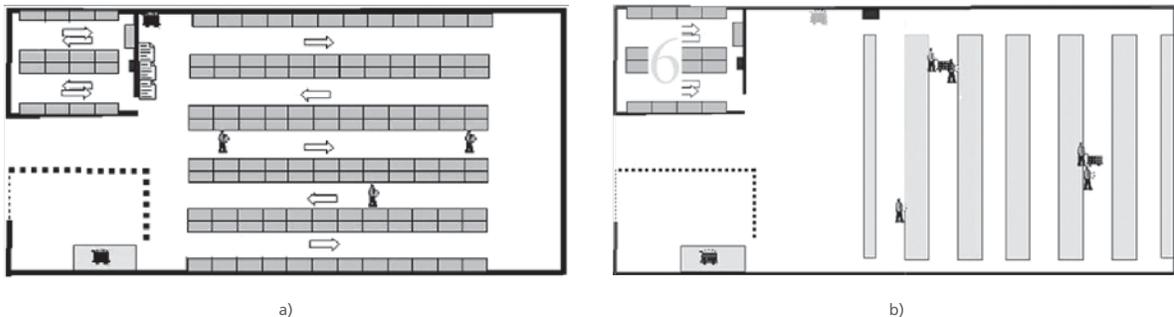


Figura 3. Distribución del almacén en el simulador. (a) Distribución real. (b) Distribución óptima.

cadena logística, pueden significar altas disminución de riesgos y aumentos en la calidad del servicio.

El estudio de casos reales bajo la modalidad de simulación es una herramienta eficaz y poderosa, que permite predecir el funcionamiento y el desempeño de múltiples actividades, de una manera más sencilla que utilizando modelos matemáticos avanzados, como es el caso de los métodos heurísticos. Los ahorros económicos, de tiempo y de espacio encontrados en este proyecto, quizás no sean significantes en la operación real del caso, sin embargo, si se supone una aplicación de este mismo estudio en un almacén de tamaño macro, el ahorro allí sería verdaderamente impactante.

El estudio realizado permite reducir en un 13% el área necesaria para el almacén y, además, en un 12.3% el tiempo promedio empleado por los trabajadores para cumplir con una orden; por lo cual no sólo los costos asociados al espacio físico son reducidos, sino que el servicio al cliente, en cuanto a una respuesta más rápida, se ve mejorado notablemente. Lo anterior le genera a la empresa un ahorro de 86 millones mensuales en movimiento de carga, frente a un gasto de adecuación de la bodega de 630 millones de pesos, se presenta así en el primer año un beneficio de 402 millones de pesos. Al entender que los objetivos fundamentales de la logística, tal como lo expresan Chopra [13], Bowersox [14] y Silver [15], son reducir los costos operativos o mejorar el servicio al cliente en la cadena de suministro, este trabajo representa un impacto considerable en la mejora de la operación logística de almacenamiento en la empresa donde se realizó el estudio, y el cual puede ser extendido hacia otras empresas donde la actividad de almacenamiento juegue un papel importante en el desempeño logístico de la organización.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **J. Drury.**  
*Towards more efficient order picking.* IMM Monograph No. 1, Report, Cranfield, UK: The Institute of Materials Management, 1988.
- [2] **J. Ashayeri, L.F. Gelders.**  
 "Warehouse design optimization". *European Journal of Operational Research.* Vol. 21, No. 3, 1985, pp. 285-294.
- [3] **R. De Koster, T. Le-Duc, K.J. Roodberg.**  
 "Design and control of warehouse order picking: A literature review". *European Journal of Operational Research.* Vol. 182, No. 2, 16 October 2007, pp. 481-501
- [4] **J.J. Bartholdi, S.T. Hackman.**  
 "Warehouse & distribution science". Fecha de consulta: Julio de 2009. Disponible en: <http://www.tli.gatech.edu/whscience/book/wh-sci.pdf>
- [5] **Y. Bassan, Y. Roll, M.J. Rosenblatt.**  
 "Internal layout design of a warehouse". *AIIE Transactions.* Vol. 12, No. 4, 1980, pp. 317-322.
- [6] **M.J. Rosenblatt, Y.Roll.**  
 "Warehouse design with storage policy considerations". *International Journal of Production Research.* Vol. 22, No. 5, 1984, pp.809-821.
- [7] **K.J. Roodbergen, R. De Koster.**  
 "Routing methods for warehouses with multiple cross aisles". *International Journal of Production Research.* Vol. 39, No. 9, 2001, pp.1865-1883.
- [8] **K.J. Roodbergen, R. De Koster.**  
 "Routing order-pickers in a warehouse with a middle aisle". *European Journal of Operational Research.* Vol. 133, No. 1, 2001, pp. 32-43.
- [9] **F. Caron, G. Marchet, A. Perego.**  
 "Optimal layout in lowlevel picker-to-part systems". *International Journal of production Research.* Vol. 38, No. 1, 2000, pp. 101-117.

- [10] **C.G. Petersen.**  
“Considerations in order picking zone configuration”.  
*International Journal of Operations & Production Management*.  
Vol. 27, No. 7, 2002, pp. 793-805.
- [11] “Erasmus-Logística warehouse design”. Fecha de consulta:  
Mayo de 2009. Disponible en:  
<http://www.fbk.eur.nl/OZ/LOGISTICA>
- [12] **R.H. Ballou.**  
*Business Logistics/ Supply Chain Management. Planning,  
Organizing, and controlling the supply chain.* Fifth Edition.  
Prentice Hall, 2004.
- [13] **S. Chopra, P. Meindl.**  
*Administración de la cadena de Suministro.* Tercera Edición,  
Ed. Prentice Hall, 2006.
- [14] **D. Bowersox, D. Closs, M.B. Cooper.**  
*Supply Chain Logistics Management.* Ed. McGraw-Hill, 2002.
- [15] **E A. Silver, D F. Pyke, R. Peterson.**  
*Inventory management and production planning and scheduling.*  
Third Edition. Ed. John Wiley & son, Inc., 1998.
- [16] **K. Choe, G.P. Sharp.**  
“Small parts order picking: design and operation”. Fecha  
de consulta: Junio de 2009. Disponible en:  
<http://www.isye.gatech.edu/logisticstutorial/order/article>.
- [17] **G. Cormier, E.A. Gunn.**  
“A review of warehouse models”. *European Journal of  
Operational Research*. Vol. 58, No. 1, 1992, pp. 3-13.
- [18] **R. De Koster, E.S. Van der Poort.**  
“Routing orderpickers in a warehouse: A comparison  
between optimal and heuristic solutions”. *IIE Transactions*.  
Vol. 30, No. 5. 1998. pp. 469–480.
- [19] **M. Goetschalckx, D.H. Ratliff.**  
“An efficient algorithm to cluster order picking items in  
a wide aisle”. *Engineering Costs and Production Economy*. Vol.  
13, No. 4, 1988, pp. 263–271.
- [20] **G. Ghiani, G. Laporte, R. Musmanno.**  
*Introduction to logistic system planning and control.* Ed. John  
Wiley & Sons, Ltd, 2004.
- [21] **R.W. Hall.**  
“Distance approximation for routing manual pickers in  
a warehouse”. *IIE Transactions*. Vol. 25, No. 4, 1993, pp.  
77-87.
- [22] **Ling-feng Hsieh and Lihui Tsai.**  
The optimum design of a warehouse system on order  
picking efficiency. *Int J Adv Manuf Technol*. Vol. 28, No.  
5-6, 2006, pp. 626-637.
- [24] **B. Rouwenhorst, B. Reuter, V. Stockrahm, G.J. van  
Houtum, R.J. Mantel, W.H.M. Zijm.**  
“Warehouse design and control: framework and literature  
review”. *European Journal of Operational Research*. Vol. 122,  
No. 3, 2000, pp. 515-533.
- [25] **Semih Ö nüt, Umut R. Tuzkaya, Bilgehan Dogac.**  
“A particle swarm optimization algorithm for the  
multiple-level warehouse layout design problem”.  
*Computers & Industrial Engineering*. Vol. 54, No. 4, 2008,  
pp. 783-799
- [26] **J.P. Van den Berg, G.P. Sharp, A.J.R.N. Gademann,  
Y. Pochet.**  
“Forward-reserve allocation in a warehouse with unit-  
load replenishments”. *European Journal of Operational  
Research*. Vol. 111, No. 1, November 1998, pp. 98–113.