

# CONFIGURACIÓN DE PASILLOS EN CENTROS DE DISTRIBUCIÓN BASADA EN MODELOS NO TRADICIONALES: MODELO ESPINA DE PESCADO<sup>1</sup>

CONFIGURATION OF AISLES IN DISTRIBUTION CENTERS BASED ON NON-TRADITIONAL MODELS: FISHBONE MODEL

CONFIGURAÇÃO DE CORREDORES EM CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO A PARTIR DE MODELOS NÃO TRADICIONAIS: MODELO DE ESPINHA DE PEIXE

**Víctor Javier Jiménez Carabali**

Magister en Ingeniería de la Universidad del Valle, Cali - Colombia, Ingeniero Industrial de la Universidad del Valle, Cali, Colombia. Docente del Departamento de Contabilidad y Finanzas de la Universidad del Valle, Cali - Colombia. victor.jimenez@correounivalle.edu.co

**Diego Fernando Manotas Duque**

Estudiante del doctorado en Ingeniería, énfasis en Ingeniería Eléctrica y Electrónica Universidad del Valle, Cali. Magíster en Gestión Financiera Universidad de Chile, Santiago de Chile. Especialista en Finanzas de la Universidad del Valle, Cali - Colombia. Docente de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle, Cali - Colombia. diego.manotas@correounivalle.edu.co

**Rosana Marisol Villota García**

Ingeniera Industrial de la Universidad del Valle, Cali - Colombia. Analista de Gestión de Calidad y Procesos, Gases de Occidente. solmary178@hotmail.com

• **Clasificación JEL:** M110

## RESUMEN

La gestión de operaciones de operaciones, manipulación de materiales y el diseño de layout en los centros de distribución, son actividades que se relacionan de forma directa, ya que el diseño de layout considera los flujos de los materiales y básicamente se orienta en la optimización de los recorridos para conseguir el desplazamiento más corto en cuanto a actividades de recolección concierne (Gue y Meller, 2009). Por lo tanto, un buen diseño de layout de un centro de distribución debe garantizar un acceso fácil y eficiente al sitio donde se encuentre ubicada la mercancía. Este artículo plantea una propuesta metodológica para evaluar el impacto de las configuraciones de los pasillos en los centros de distribución comparando la configuración tradicional con la configuración espina de pescado, teniendo en cuenta varias órdenes dentro de un pedido y diferentes modalidades de almacenamiento.

## ABSTRACT

*Operations management, material handling, and layout design in distribution centers are activities that are directly inter-related, since the design of the layout considers the flow of material and is basically oriented towards optimization of the trips to obtain the shortest displacement as regards picking (Gue and Meller, 2009). Thus, a good layout design of a distribution center should guarantee easy and efficient access to the site where the goods are located. This article proposes a methodological proposal to evaluate the impact of the configurations of aisles in the distribution centers, comparing the traditional configuration with the fishbone configuration, taking into account various orders within a request and different storage modalities.*

## PALABRAS CLAVE

*Centros de distribución, configuración de pasillos, espina de pescado.*

Fecha de recepción: 10 - 12 - 2012

## KEYWORDS

*Distribution centers, configuration of aisles, fishbone.*

Fecha de aceptación: 01 - 02 - 2013

## RESUMO

EA gestão de operações, manuseio de materiais e o projeto de layout nos centros de distribuição, são atividades que se relacionam de forma direta, uma vez que o projeto de layout considera os fluxos dos materiais e basicamente é orientado para a otimização das rotas para conseguir o deslocamento mais curto quanto às atividades relativas à coleta (Gue e Meller, 2009). Portanto, um bom projeto de layout de um centro de distribuição deve garantir um acesso fácil e eficiente ao local onde se encontra localizada

a mercadoria. Esse artigo apresenta uma proposta metodológica para avaliar o impacto das configurações dos corredores nos centros de distribuição comparando a configuração tradicional com a configuração espinha de peixe, tendo em conta várias ordens dentro de um pedido e diferentes modalidades de armazenagem.

## PALAVRAS-CHAVE

Centros de distribuição, configuração de corredores, espinha de peixe

## Introducción

Normalmente hay tres actividades dentro de una cadena de suministro: aprovisionamiento, producción y distribución, y cada una de ellas puede constar de varias instalaciones (Zhao y Chen, 2009). Los centros de distribución son infraestructuras logísticas en las cuales se almacenan diferentes tipos de mercancía (Ballou, 1999). El diseño del área de almacenamiento en los centros de distribución, busca facilitar la optimización de los recorridos, la rapidez de la preparación de los pedidos, la precisión de los mismos y la colocación más eficiente de las existencias, todos ellos en pro de conseguir ciclos de pedido más rápidos, menores costos de operación, capacidad de almacenamiento y mejor servicio al cliente. Generalmente se conocen diseños tradicionales de los almacenes, en los cuales las estanterías se alinean de forma paralela y obligan a los recolectores a desplazarse a través de los pasillos en largas distancias rectilíneas, hasta encontrar la ubicación del producto o productos requeridos (Gue y Meller, 2009).

El problema del diseño de pasillos es el primero de tres eventos relacionados con el diseño de los almacenes. El segundo es la asignación de productos, que trata de poner estos en los lugares adecuados, y el tercero es el problema de enrutamiento, que determina la mejor secuencia de lugares para visitar de un trabajador en la recolección de órdenes (Gue y Meller, 2009).

Con el fin de evitar el recorrido de largas distancias y a su vez mejorar el tiempo de respuesta en cada pedido, se considera que la ubicación de las estanterías en los centros de distribución, puede generar factores de estudio

que permitan proponer configuraciones alternativas para el área de almacenamiento y así obtener mayor eficiencia en cuanto a desplazamientos, tiempos de entrega y utilización de recursos. Este artículo desarrolla una propuesta metodológica para evaluar el desempeño de una configuración no tradicional para un área de almacenamiento en centros de distribución, comparado con una configuración tradicional. La configuración propuesta se basa en el diseño Fishbone Aisles (espinha de pescado) presentado por Gue y Meller (2009), con la salvedad de que este trabajo busca determinar la eficiencia de la configuración no tradicional, en almacenes que trabajan con ciclos de órdenes múltiples, con cantidades de carga no consolidada y con métodos de almacenamiento dedicado. Esto implica un proceso de agrupamiento y programación de los pedidos que realizan los clientes y utilizar sistemas de ruteo en el almacén.

A diferencia del presentado por Gue y Meller (2009), se considera los tres problemas asociados al diseño de un almacén: el diseño o configuración de los pasillos, la asignación de productos y el problema de enrutamiento del recolector de pedidos (Heragu, 2006).

## 1. Generalidades de los centros de distribución

En los centros de distribución, los almacenes pueden ser clasificados según su relación con el flujo de producción, según su ubicación, según el material a almacenar, según su localización y según su función logística (Silva, 2006). Las principales operaciones llevadas a cabo en un centro de distribución son: operaciones de recepción

de almacenamiento y de despacho (Bartholdi y Hackman 2010). Las de recepción, representan alrededor del 10% de los costos de operación en un centro de distribución típico (Frazelle, 2002), mientras que las operaciones de almacenamiento representan alrededor del 15% de los costos de las operaciones de un centro de distribución (Bartholdi *et al.*, 2010), (Vidal, 2009) y (Frazelle, 2002).

Los costos obligan a utilizar el espacio de almacenamiento de manera más eficiente, de modo que se han desarrollado diversas maneras de asignar los productos a sus lugares de almacenamiento en los centros de distribución, tales como: almacenamiento dedicado (De Koster y Neuteboom, 2001), almacenamiento aleatorio (Choe y Sharp, 1991; Vidal, 2009), almacenamiento abierto (De Koster, Duc y Roodbergen, 2007) y (Hausman, Schwarz y Graves 1976), almacenamiento de acuerdo con su rotación (Vidal, 2009), almacenamiento basado en clases (Vidal, 2009), familias de agrupación (Koster *et al.*, 2007) y, operaciones de recolección de ordenes (Picking) (Ratliff y Rosenthal, 1982). Diversos estudios han revelado que la recolección de órdenes es la actividad más costosa de una bodega o centro de distribución típico, pues representan el 65% de los costos operativos y el 50% de la fuerza de trabajo (Frazelle, 1992; Vidal, 2009). Existen dos grupos de procesos de picking: Picking "in situ" (Anaya, 2007 y Koster *et al.*, 2007) y estaciones de picking (Anaya, 2007), (Tompkins, White, Bozer, Frazelle, Tanchoco y Trevino, 2003), (Gutiérrez, 2002); además existen sistemas de preparación de pedidos, tales como: Picking de una Única Orden (Bravo, 2001), Picking por Batches (Bravo, 2001), Picking por Zonas (Koster *et al.*, 2007). Para Lawler, Lenstra, Rinnooy y Shmoys (1995) el problema del enrutamiento presente en los centros de distribución, es en realidad un caso especial del problema del viajero (Koster *et al.*, 2007), (Vidal, 2009), (Bozer, Schorn y Sharp 1990), (Gademann y Van de Velde, 2005). Operaciones de embalaje: El embalaje es una de las operaciones que requiere mayor fuerza de trabajo (Bartholdi *et al.*, 2010), y, por último las operaciones de Despacho, (Bravo, 2001), (Hompel *et al.*, 2007).

Otro factor importante a considerar en los centros de distribución es su diseño, sea este nuevo o existente. Entre los aspectos, que se deben tener en cuenta son: El tamaño y la configuración interna (Montenegro, 2002), para Vidal (2009), el tamaño de los centros de distribución depende principalmente de la cantidad de inventario que estos vayan a almacenar; con respecto al segundo aspecto Bassan *et al.* (1980), presentan un modelo matemático

para realizar la configuración interna de un centro de distribución. Por lo general, en los centros de distribución se conocen diseños de layout tradicionales, estos diseños cuentan con distribuciones cúbicas, donde los pasillos se alinean de forma paralela horizontal o verticalmente. En algunos casos estas configuraciones incluyen uno o más cruces de pasillos en medio del área de picking. Sin embargo, Gue y Meller (2009) argumentan que las distancias de viaje en almacenes de carga consolidada se pueden reducir hasta en un 20% mediante la configuración de los pasillos, modificando su ángulo y creando pasillos transversales; para ello presentan algunos diseños no tradicionales del área de layout, los cuales contribuyen con una reducción significativa en el tiempo de viaje en operaciones de picking. Estos diseños son: Flying-V Design, CrevronAisles, FishboneAisles. En la configuración Fishbone Aisles, los pasillos de picking no son paralelos los unos con los otros en su totalidad, las orientaciones de los pasillos son de formas horizontales y verticales y los pasillos cruzados son dos diagonales que parten desde el único punto P&D y tienen una pendiente  $m = b/na$ , siendo n el total de pasillos verticales (Ver Figura 1).

Con respecto a las configuraciones espigas de pescado, los estudios se han centrado en almacenes de carga consolidada, ya sean áreas de preparación de pedidos o áreas de reserva, donde los productos se almacenan y se recuperan en pallets y donde cada estiba es asignada a un solo localizador. Es por ello que su estudio se basa fundamentalmente en centros que realizan almacenamiento aleatorio y que trabajan con ciclos de única orden, por lo tanto los recorridos de los trabajadores son hacia y desde una sola ubicación de almacenamiento.

### 3. Propuesta metodológica

La propuesta metodológica del presente trabajo supone dos fases, en la primera se debe trabajar con las condiciones iniciales con que cuenta el centro de distribución, es decir, el tipo de configuración y el método de disposición de almacenamiento que este utiliza. Una vez aplicada la fase 1, se obtendrán unas órdenes de recolección base, que serán replicadas y probadas bajo fase 2, en el cual se utilizan diferentes métodos de disposición de almacenamiento para las dos configuraciones del área de almacenamiento: la

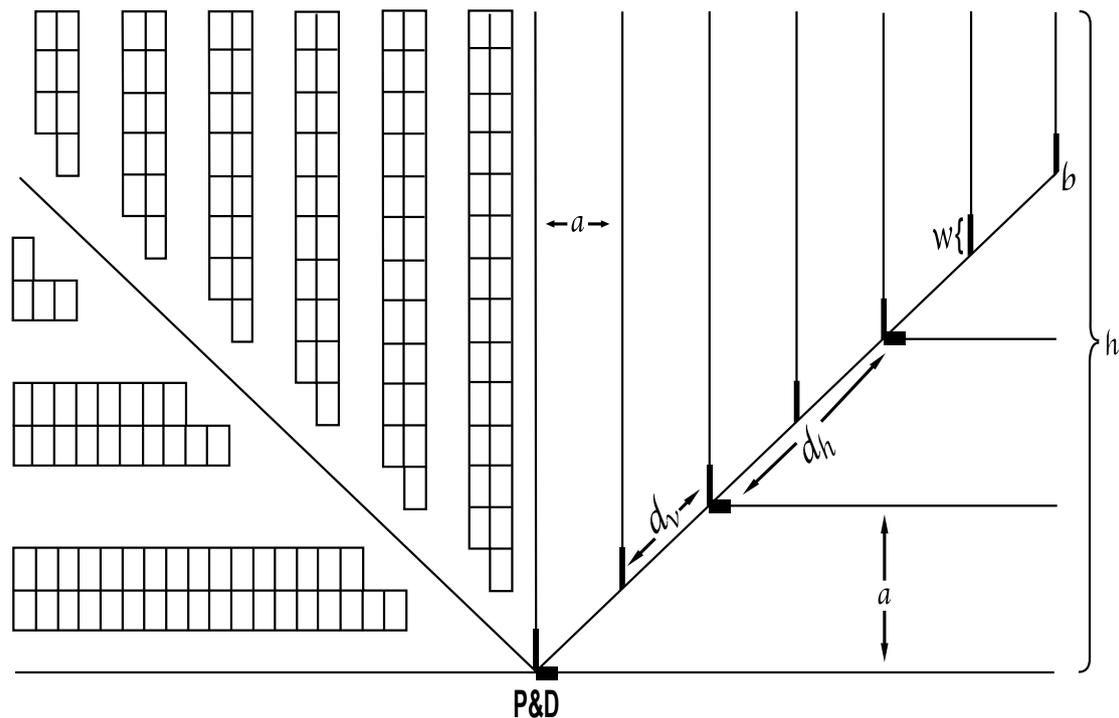


Figura 1. Configuración de pasillos Fishbone Aisles.

Fuente. Traducida de Gue et al., (2009 pág. 4)

tradicional y la propuesta; a continuación se describen los pasos utilizados para el desarrollo de la metodología, partiendo desde la parametrización del centro de distribución hasta como se realizó la simulación.

### 3.1. MATRIZ DE DISTANCIAS

En primer lugar es necesario crear una matriz cuadrada de distancias, para cada una de las configuraciones, en la cual se involucren las distancias de todos los localizadores incluyendo los puntos P&D. Para la elaboración de las matrices cuadradas, se utilizan algoritmos que permitan determinar con mayor facilidad las distancias, ya que en ambas configuraciones estas no se pueden calcular de forma polar, debido a las estanterías que obstaculizan el tránsito.

A continuación se presentan los algoritmos utilizados, en cada una de las Figuras desde la 2 a la 12 se muestran los diferentes casos para cada configuración y seguido de cada una de ellas las ecuaciones desde la 1 a la 8, utilizadas para el cálculo de las distancias; para ello se tiene:

#### Índices:

- $i, j$  = denota localizadores
- $k$  = conjunto de localizadores ubicado en la zona  $k$  (1=inferior, 2= superior)

#### Parámetros:

- $A$  = ancho del localizador.
- $X_i$  = coordenada en el eje  $x$  del localizador  $i$ , se determina por el pasillo adyacente al punto  $i$ .
- $Y_i$  = coordenada en el eje  $y$  del localizador  $i$ .
- $P_k$  = coordenada del pasillo exterior de la zona  $k$  ( $P_1$  = pasillo inferior,  $P_2$  = pasillo superior).
- $Z$  = coordenada del pasillo medio.

#### Variables:

- $d_{ij}$  = distancia mínima entre el localizador  $i$  y el localizador  $j$

Para la configuración tradicional se presentan dos casos, los cuales son mostrados en las Figuras 2 y 3 donde para cada una se tienen dos cuadrantes entendido cuadrante las columnas ubicadas en la misma fila, sin intersección de pasillo vertical, por lo que las figuras se dividen en dos zonas, cada caso está acompañado de su respectiva ecuación.

**Caso 1**

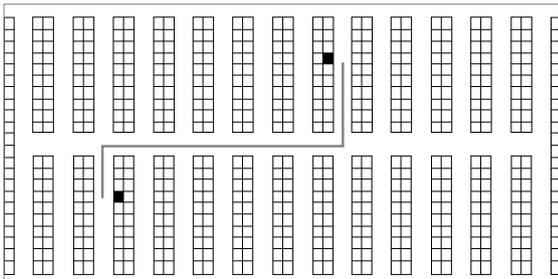


Figura 2. Ejemplo caso 1: localizadores en diferentes cuadrantes.

Si  $k(i) \neq k(j)$ :

$$d_{ij} = A * (2 + |Y_i - Y_j| + |X_i - X_j|) \quad \forall i \neq j \quad \text{Ecuación 1.}$$

Si  $i = j$ :  $d_{ij} = \emptyset$

**Caso 2**

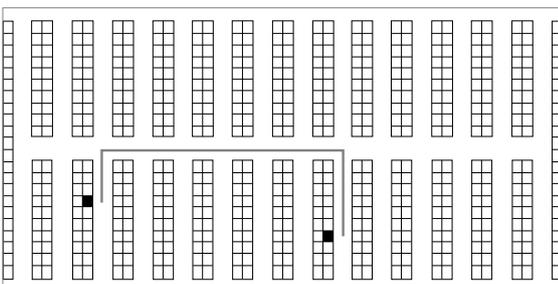


Figura 3. Ejemplo caso 2: localizadores en el mismo cuadrante.

Si  $k(i) = k(j)$ :

$$d_{ij} = A * (2 + |X_i - X_j| + \min(|Y_i - P_k| + |Y_j - P_k|; |Y_i - Z| + |Y_j - Z|)) \quad \text{Ecuación 2.}$$

A continuación se describe el análisis de la configuración no tradicional en primera instancia se delimitará el área de los pasillos como se muestra en las Figuras 4, 5 y 6 y luego se presentarán cada uno de los casos para la determinación de las distancias, Figuras 7 a 12, para cada uno de los desplazamientos posibles.

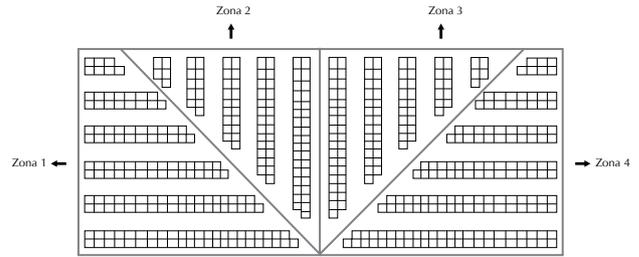


Figura 4. Asignación de zonas para configuración no tradicional.

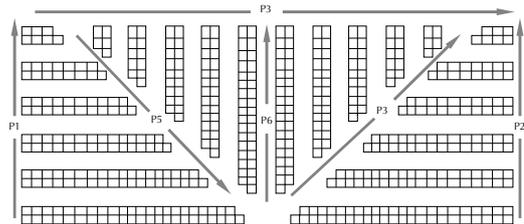


Figura 5. Asignación de pasillos para configuración no tradicional.

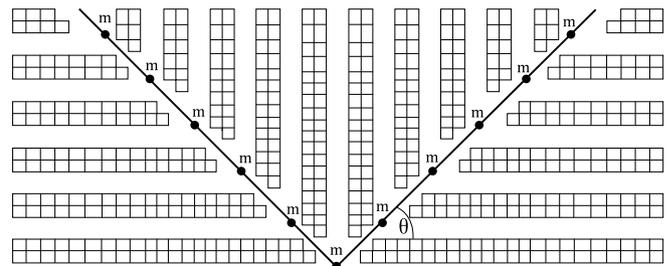


Figura 6. Puntos de intersección "m" y ángulo de pasillos de picking.

**Índices:**

- $i, j$  = denota localizadores.
- $k$  = conjunto de localizadores ubicado en la zona
- $m$  = punto en la recta del pasillo 4 o 5 donde el localizador se encuentra más cercano.

**Parámetros:**

- $\theta$  = Ángulo del pasillo 5 y 6. Nótese que  $\theta = 45^\circ$ , entonces  $\cos \theta = \sin \theta$
- $X_i$  = coordenada en el eje  $x$  del localizador  $i$ , se determina por el pasillo que permite el acceso hasta este localizador.
- $Y_i$  = coordenada en el eje  $y$  del localizador  $i$

- $X_m$  = coordenada en el eje  $x$  del punto  $m$
- $Y_m$  = coordenada en el eje  $y$  del punto  $m$
- $P_i$  = coordenada del pasillo exterior que limita con el localizador  $i$

**Variables:**

- $d_{ij}$  = distancia mínima a recorrer entre el localizador  $i$  y el localizador  $j$
- Si  $i = j$ :  $d_{ij} = \emptyset$

Los casos que se presentan son:

**Caso 1**

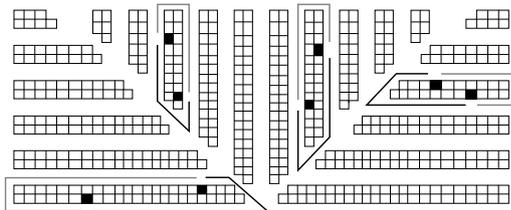


Figura 7. Ejemplo caso 1.

- Si  $K(i) = K(j)$ 
  - Si  $K(i) = (1v4)$ :

$$d_{ij} = A * \min (2 + |y_i - y_j| + |x_i - p_i| + |x_j - p_j|; 2 + |y_i - y_j| / \cos \theta + |y_i - y_m| + |y_j - y_m|) / \cos \theta$$

**Ecuación 3**

- Si  $K(i) = (2v3)$ :

$$d_{ij} = A * \min (2 + |x_i - x_j| + |y_i - p_i| + |y_j - p_j|; 2 + |x_i - x_j| / \cos \theta + |y_i - y_m| + |y_j - y_m|) / \cos \theta$$

**Ecuación 4**

**Caso 2**

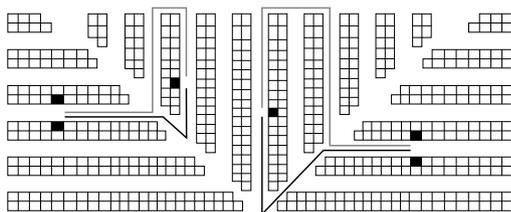


Figura 8. Ejemplo caso 2.

Si  $K(i) = 1 \wedge K(j) = 2 \vee K(i) = 3 \wedge K(j) = 4$ :

$$d_{ij} = A * \min (|x_i - x_m| + |y_m - p_j| + 2 + |x_j - x_m| + |p_j - y_j|; |y_j - y_m| + 2 + |x_j - x_m| / \cos \theta + |x_i - x_m|)$$

**Ecuación 5**

**Caso 3**

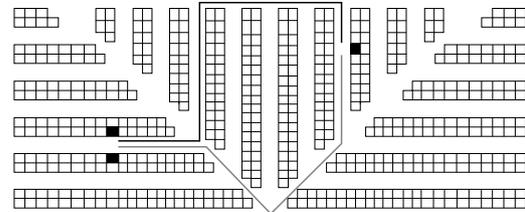


Figura 9. Ejemplo caso 3.

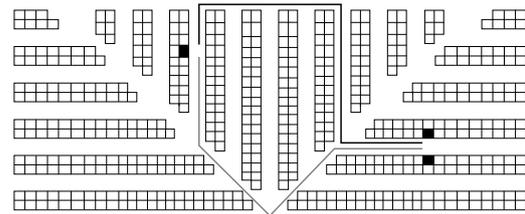


Figura 10. Ejemplo caso 3.

Si  $K(i) = 1 \wedge K(j) = 3 \vee K(i) = 4 \wedge K(j) = 2$ :

$$d_{ij} = A * \min (2 + |x_i - x_m| + |p_j - y_m| + |x_m - x_j| + |y_j - p_j|; 2 + |x_i - x_m| + |x_m - p_6| / \cos \theta + |p_6 - x_m| / \cos \theta + |y_m - y_j|)$$

**Ecuación 6**

**Caso 4**

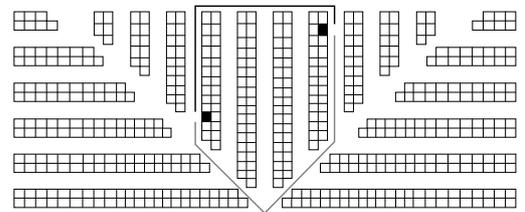


Figura 11. Ejemplo caso 4.

Si  $K(i) = 2 \wedge K(j) = 3$ :

$$d_{ij} = A * \min (2 + |x_i - x_j| + |p_i - y_i| + |p_j - y_j|; 2 + |y_j - y_m| + |y_j - y_m| + |y_m - p_6| / \cos \theta + |x_m - p_6| / \cos \theta)$$

**Ecuación 7**

**Caso 5**

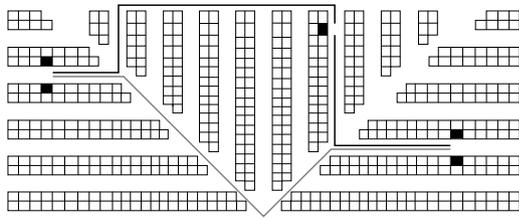


Figura 12. Ejemplo caso 5.

Si  $K(i) = 1 \wedge K(j) = 4$ :

$$d_{ij} = A * \min (2 + |x_i - x_j| + |y_i - p_3| + |y_j - p_3|;$$

$$2 + |x_i - x_m| + |x_j - x_m| + |y_j - y_m| / \cos\theta + |y_i - y_m| / \cos\theta)$$

Ecuación 8

**3.2. MÉTODOS DE DISPOSICIÓN PARA ALMACENAMIENTO DEDICADO**

Luego es necesario resolver el problema de asignación de los productos en la bodega, para ello se trabajó con algunos métodos de almacenamiento dedicado, los cuales buscan lograr una mejor disposición de los productos en los lugares de almacenamiento. Estos métodos son, el método COI (Cube per Order Index), el método por popularidad (By-Popularity) y el método por volumen (By-Cube)

**3.3. GENERACIÓN DE UNA ORDEN DE RECOLECCIÓN BASE**

Para generar una orden de recolección se elige de manera aleatoria un grupo de 10 productos, se especifica qué localizador lo contiene y qué cantidad de este se debe recolectar. La escogencia de cada producto dentro de las órdenes de recolección toma en cuenta la frecuencia o el número de órdenes en que apareció cada uno de los productos en el último año según estos, valores asigna una probabilidad de ocurrencia para cada uno de ellos. Se debe comprender cual es la capacidad total de cargue de los recursos recolectores (carretillas recoge pedidos) en cada una de las órdenes de recolección. Por lo tanto, para determinar la cantidad que se debe recoger de cada producto se asume que a cada uno de ellos le

corresponde un porcentaje en la capacidad en cajas de la carretilla recolectora. Este porcentaje es aleatorio para cada producto y puede corresponder a valores entre 0% y 100%; sin embargo, la suma de los 10 productos de la orden debe ser del 100%. Después de definir qué productos deben ser recolectados y en que cantidad, se debe conocer en que localizadores se encuentran disponibles dichos productos. Se asume que siempre habrá disponibilidad de los productos en sus respectivos lugares de almacenamiento.

**3.4. TRAVELING SALESMAN PROBLEM(TSP)**

Una vez generada una orden de recolección base es necesario conocer cuál es la ruta óptima que deben cubrir los recolectores para cumplir con este pedido. Es por ello que para solucionar el problema de enrutamiento del recolector de pedidos se aplica el algoritmo TSP.

**3.5. SIMULACIÓN**

Para elaborar la simulación se utiliza el software Excel, más específicamente se crea una macro en Visual Basic®, la cual se programa con el software Lingo®. Para la simulación de la Fase 1, la macro de Excel se encarga de replicar la generación aleatoria de órdenes. Las órdenes indican que ítem debe recogerse, en qué cantidad y que localizador que contenga este producto debe visitar.

Luego, tomando como base la información contenida en la matriz de distancias, se alimentan las necesidades de información del modelo de ruteo (TSP) programado en el software Lingo®, para obtener así la secuencia óptima a seguir en la construcción de las órdenes. Una vez se ha corrido la simulación, los datos generados por la misma son guardados en Excel. Para realizar la simulación es necesario considerar el número de trabajadores que el centro de distribución asigna para las tareas de recolección, la velocidad aproximada de tránsito de los recursos recolectores (carretillas recoge pedidos) y la velocidad aproximada de cargue. Para la simulación de Fase 2 se toma información de la Fase 1 y como resultado se obtienen los siguientes datos por cada orden: en dónde se encuentran localizados los productos, cuál fue la distancia total recorrida, cuál fue el peso total recolectado, cuál fue el tiempo total empleado y que recurso se encargó de la recolección.

## 4. Presentación del caso

La zona de layout de este centro de distribución con configuración tradicional, cuenta con un área total de 2853.76m<sup>2</sup> (longitud 78.4m; ancho 36.4m). Este almacén presenta una forma rectangular y contiene tres cruces horizontales en medio de los pasillos ( $P_1$ = pasillo inferior,  $P_2$  pasillo medio,  $P_3$  = pasillo superior) y cuenta también con 14 pasillos verticales de picking (Ver Figura 13).

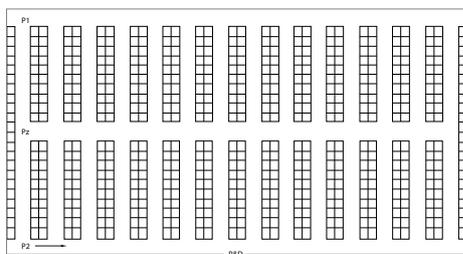


Figura 13. Configuración tradicional del área de layout en un centro de distribución (Caso Estudio)

Además el área de layout tiene un total de 564 localizadores o estantes base, con dimensiones de 1.4m x 1.4m. Los productos siempre están disponibles en el primer nivel (recolección al piso), esto con el fin de facilitar dicha operación. En la actualidad, el centro de distribución alberga un total de 100 productos. Este centro cuenta con un método de almacenamiento dedicado (método de disposición COI) y con sistemas de almacenamiento de carga unitaria (paletización). Debido al tamaño que presentan las configuraciones del área de almacenamiento en término del número de localizadores (564 para la configuración tradicional y 534 para la configuración propuesta), fue necesario utilizar un modelo cuantitativo de disposición para el almacenamiento (Tompkins *et al.*, 2006) el cual pretende determinar la disposición óptima de almacenamiento dedicado. Además, este centro trabaja con un sistema de control de inventario continuo (s,S), lo que indica que deben existir lugares reservados para todos los ítems y el espacio de almacenamiento debe de ser suficiente para almacenar el nivel máximo de inventario de los productos.

Existen doce tipos de cajas, en las cuales son empacados los diferentes productos con que cuenta el centro de distribución. A cada producto le corresponde solo un tipo de caja y esta a su vez determina su unidad de empaque;

las cajas son apiladas en pallets (estibas) con un total de seis tendidos y su proceso de recolección se realiza mediante sistemas de picking por batches u órdenes múltiples. En este caso se les asigna una nueva tarea u orden a los recolectores de pedidos (2), siempre que se encuentren disponibles, esto quiere decir que siempre existe una orden pendiente para ser recolectada. Cada orden corresponde a un grupo de 10 productos (cajas) previamente identificados. Los recolectores parten desde el punto de origen (P&D), luego deben visitar los localizadores de almacenamiento que contienen dichos productos, extraer el pedido y, finalmente, regresar al mismo punto de partida o estación, tratando siempre de recorrer la menor distancia posible. El punto (P&D), representa el punto de origen y el punto de llegada y consolidación de órdenes al interior del centro de distribución, es aquí donde se reúnen todos los productos recogidos, se hacen controles de calidad y se agrupan los productos en las órdenes específicas de los clientes; desde este punto también se despachan los pedidos a cada uno de los muelles de cargue; el centro de distribución trabaja cinco días a la semana y en cada uno de ellos hay un turno de 8 horas, es decir, que este centro trabaja 40 horas semanales. Además, para las operaciones de picking o de recolección de órdenes, el centro ha asignado 2 trabajadores por turno.

Para la configuración propuesta (espina de pescado), (Ver Figura 14) se tienen en cuenta algunas consideraciones: que el nuevo diseño se adhiera a los estándares de diseño de forma rectangular que presenta el área del caso estudio tradicional, la distancia entre los pasillos, la longitud y el ancho del área de layout. Además, esta configuración utiliza un ángulo de inclinación para los pasillos cruzados de 45 grados, ángulo sugerido por [1] en su trabajo de investigación.

La nueva configuración cuenta con un total de 534 localizadores o estantes base, con iguales dimensiones que los localizadores de la configuración tradicional (1.4 m x 1.4 m).

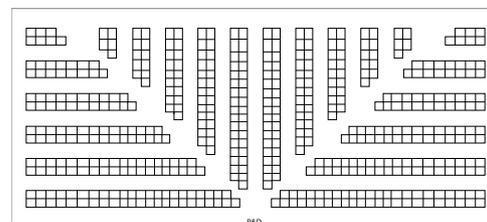


Figura 14. Propuesta de configuración espina de pescado para el área de layout del centro de distribución.

El objetivo de esta configuración es reducir al mínimo la distancia de viaje empleada en las operaciones de picking, con lo cual se ahorra tiempo y por ende se logra un manejo más eficiente de los recursos disponibles. El sistema de recolección es igual al propuesto en el caso tradicional y además se asume que los trabajadores dedicados a la recolección de órdenes operan independientemente y no interfieren unos con otros, es decir, que no existe congestión, lo cual es un supuesto razonable debido a que el número de trabajadores no es tan grande como para crear una congestión significativa y además los pasillos son lo suficientemente anchos para permitir su paso.

## 5. Resultados

Los resultados, después de realizar la simulación de un año de operaciones (120.960 min) de recolección de órdenes para el área de layout de los casos estudio bajo el método de disposición de almacenamiento COI, se muestran en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Resultados de la simulación para configuración tradicional y propuesta (método COI)

	Configuración tradicional	Configuración propuesta
Cantidad de órdenes recolectadas.	15.878	16.100
Distancia total recorrida (Km).	6.637,83	6.140,80
Peso total recolectado (Kg).	13.071.756,63	13.254.509,35
Tiempo total de carga (horas).	3.396,80	3.444,30
Tiempo total de transporte (horas).	635,706	588,2
Tiempo total de operación (horas).	4.032,50	4.032,50

Es necesario aclarar que los tiempos totales de carga, transporte y operación toman en cuenta el trabajo simultáneo de los dos recursos recolectores. Las diferencias mostradas en la Tabla 1 radican en que el número de órdenes recolectadas en el mismo período de trabajo difieren entre sí, lo cual indica que con la configuración propuesta se logra realizar un mayor número de órdenes. Con el fin de determinar cuál de las dos configuraciones resulta más eficiente, en cuanto a distancias recorridas

y por ende tiempos de desplazamiento, es necesario compararlas con condiciones similares (igual número de órdenes de recolección) (Ver Tabla 2)

Tabla 2. Comparación resultados de simulación para configuraciones de layout.

	Configuración Tradicional	Configuración Propuesta
Cantidad de órdenes recolectadas.	15.878	15.878
Distancia total recorrida (Km).	6.637,83	6.054,19
Peso total recolectado (Kg).	13.071.756,63	13.071.756,63
Tiempo total de transporte (horas).	635,706	579,968
Tiempo total de operación (horas).	4.032,50	3.976,76

De la Tabla 2 se puede observar la diferencia en el desempeño de las dos configuraciones, donde la configuración propuesta resulta más eficiente, ya que ésta en comparación con la configuración tradicional presenta un ahorro total de 583.6 kilómetros de recorrido, asociados a las operaciones de picking, es decir, un ahorro del 9,61%. Además, esta configuración presenta un ahorro del 1,4% en el tiempo total de operación, lo cual permite incrementar la capacidad de picking en 222 órdenes anuales aproximadamente, es decir 3.54 días de operación. Se observa también que cuando se realizan las mismas órdenes en ambas configuraciones, el ahorro en el tiempo total de transporte que presenta la configuración propuesta con respecto a la configuración tradicional es del 9,61%. El ahorro en el tiempo total de operación es bajo, ya que la mayor parte de este es consumido por el tiempo total de carga de los productos. En este caso, el tiempo total de carga de los productos es elevado, debido a que el promedio de ocupación del recurso recolector es de alrededor del 82% de su capacidad total (1 tonelada) en cada orden.

### 5.1. SIMULACIÓN DE OPERACIONES DE RECOLECCIÓN EN EL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN (MÉTODO DE POPULARIDAD).

Se realizó la simulación de un año de operaciones (120960 min) bajo el método de almacenamiento de popularidad para las dos configuraciones, dando como resultado lo ilustrado en las Tablas 3 y 4.

**Tabla 3.** Resultados de la simulación para configuración propuesta (método de popularidad)

	Configuración tradicional	Configuración propuesta
Cantidad de órdenes recolectadas.	16.046	16.004
Distancia total recorrida (Km).	6.265,07	6.359,94
Peso total recolectado (Kg).	13.209.852,55	13.175.264,17
Tiempo total de carga (horas).	3.432,68	3.423,69
Tiempo total de transporte (horas).	599,719	608,598
Tiempo total de operación (horas).	4.032,40	4.032,40

**Tabla 4.** Comparación de resultados de simulación para configuraciones de layout.

	Configuración tradicional	Configuración Propuesta
Cantidad de órdenes recolectadas.	16.004	16.004
Distancia total recorrida (Km).	6.248,53	6.359,94
Peso total recolectado (Kg).	13.175.264,17	13.175.264,17
Tiempo total de transporte (horas).	598,124	608,598
Tiempo total de operación (horas).	4.021,82	4.032,29

A diferencia de los resultados anteriores, en esta oportunidad la configuración tradicional en comparación con la configuración propuesta resulta más eficiente, ya que permite incrementar la capacidad anual de picking en un total de 42 órdenes. Se observa también, que cuando se comparan las dos configuraciones con el mismo número de órdenes, la configuración tradicional presenta un ahorro de 94.87 kilómetros de recorrido, asociados a las operaciones de picking, es decir, un ahorro del 1,78%,. Además la configuración tradicional también presenta un ahorro del 1,75% en el tiempo total de transporte y 0,26% en el tiempo total de operación.

## 5.2. SIMULACIÓN DE OPERACIONES DE RECOLECCIÓN EN EL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN (MÉTODO DE VOLUMEN)

Como en los resultados anteriores, nuevamente se pretende determinar cuál de las dos configuraciones resulta más eficiente, pero en esta ocasión se realizará

la simulación con el método de almacenamiento de volumen. Para ello se simuló un año de operaciones de recolección y se obtuvieron los siguientes resultados (Ver Tablas 5 y 6).

**Tabla 5.** Resultados de la simulación para configuración tradicional (método de volumen).

	Configuración tradicional	Configuración propuesta
Cantidad de órdenes recolectadas.	16.034	15.986
Distancia total recorrida (Km).	6.280,41	6.392,34
Peso total recolectado (Kg).	13.199.922,83	13.160.568,63
Tiempo total de carga (horas).	3.430,10	3.419,88
Tiempo total de transporte (horas).	602,161	612,296
Tiempo total de operación (horas).	4.032,26	4.032,17

**Tabla 6:** Comparación de resultados de simulación para configuraciones de layout.

	Configuración Tradicional	Configuración Propuesta
Cantidad de órdenes recolectadas.	15.986	15.986
Distancia total recorrida (Km).	6.261,83	6.392,34
Peso total recolectado (Kg).	13.160.568,63	13.160.568,63
Tiempo total de transporte (horas).	600,364	612,296
Tiempo total de operación (horas).	4.020,24	4.032,17

Una vez más, la configuración tradicional presenta un mejor desempeño, en comparación con la configuración propuesta, ya que permite incrementar la capacidad anual de picking en un total de 48 órdenes.

Además, cuando se comparan las dos configuraciones con el mismo número de órdenes, la tradicional presenta un ahorro de 111.92 kilómetros de recorrido, asociados a las operaciones de picking, es decir, un ahorro del 2%, lo cual representa un ahorro total en distancias y en tiempos de desplazamiento,. La configuración tradicional también presenta un ahorro del 1,98% en el tiempo total de transporte y 0,29% en el tiempo total de operación.

## 6. Conclusiones

Cuando se piensa en el diseño o configuración de los pasillos en un almacén, es importante considerar tanto la asignación adecuada de los productos (métodos de disposición de almacenamiento), como el enrutamiento del recolector de pedidos, lo cual determina la mejor secuencia de lugares para visitar en la construcción de órdenes. Estas relaciones resultan fundamentales si se desea hacer un manejo eficiente de las operaciones de recolección. Dentro de la recolección de una orden determinada o de un grupo de órdenes, la secuenciación de la recolección de los pedidos y el método de disposición de almacenamiento con que cuente el centro de distribución, pueden representar un impacto clave en el tiempo y la distancia total de desplazamiento.

El objetivo más importante de la configuración de los pasillos en el área de layout es encontrar un mejor diseño del almacén, el cual permite un manejo más eficiente de sus recursos, esto siempre y cuando se tengan en cuenta las limitaciones y los requisitos necesarios para realizar dicho diseño. Cuando un centro de distribución tradicional ya existente opta por una configuración no tradicional, debe tener en cuenta algunas características: que el nuevo diseño se ajuste a los estándares de diseño forma rectangular que presenta la configuración tradicional, la distancia entre los pasillos y la longitud y el ancho del área de layout.

La configuración Fishbone se creó con el fin de poder reducir el tiempo de recolección de pedidos y mejorar el manejo de los recursos de las organizaciones. Esta configuración busca que la forma de los pasillos produzca la menor distancia esperada de viaje en las órdenes de recolección. La configuración de layout basada en el modelo espina de pescado es recomendada para aquellos almacenes en proyecto de construcción.

Por el contrario, para aquellos que ya cuentan con una configuración tradicional y quieran adoptar esta nueva configuración, es necesario primero que determinen si los ahorros generados por dicho cambio, justifican la inversión requerida para lograrlo. En este caso, el ahorro en el tiempo total de operación es bajo para ambas configuraciones, ya que la mayor parte de este es consumido por el tiempo total de cargue de los productos, es decir, que si se logra una disminución significativa en

las operaciones de cargue, se obtendrá un mayor ahorro en los tiempos totales de operación.

El desarrollo de los métodos de análisis y simulación utilizados, con el fin de determinar el diseño apropiado para el área de layout del centro de distribución del caso estudio, permitieron integrar los efectos de la configuración de los pasillos, de las políticas de almacenamiento y de los sistemas de ruteo al interior del almacén.

## NOTAS

1. Artículo producto del proyecto: Diseño de una metodología para la configuración de los pasillos en centros de distribución basada en modelos no tradicionales “ , iniciado en enero de 2010 y concluido en marzo de 2011

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANAYA, Julio. *Logística Integral: la gestión operativa de la empresa*. 3ª Edición. España: ESIC Editorial, 2007.
2. BALLOU, Ronald. *Business Logistics Management: Planning, Organizing, and Controlling the Supply Chain*. 4ª Edición. New Jersey: Prentice Hall, Upper Saddle River, 1999.
3. BARTHOLDI III, John. y HACKMAN, Steven *Warehouse and Distribution Science*. EN: Release 0.90. The Supply Chain and Logistics Institute, School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta , 2010.
4. BASSAN, Yoseph. ROLL, Yaakov. y ROSENBLATT, Meir. *Internal layout design of a warehouse*. En: IIE Transactions. Vol. 12 No.4 (1980); pp.317-22
5. BOZER, Yavuz, SCHORN, Ellen Y SHARP, Gunter. *Geometric Approaches to Solve the Chebyshev Traveling Salesman Problem*. En: IIE Transactions. Vol 22, (1990); p.239-254
6. BRAVO, J.J. *Operaciones en centros de distribución*. Colombia, Universidad del Valle, Manuscrito no publicado, 2001.
7. CHOE, Kyung. SHARP, Gunter (1991). *Small parts order picking: design and operation*. [citado febrero de 2011] Disponible en internet: < <http://www2.isye.gatech.edu/~mgoetsch/cali/Logistics%20Tutorial/order/article.htm> >
8. DE KOSTER, René., NEUTEBOOM, A.J. *The Logistics of Supermarket Chains*. Doetinchem, The Netherlands: Elsevier, 2001.
9. DE KOSTER, René. DUC, Le. ROODBERGEN, Kees. *Design and control of warehouse order picking: A literature review*. En: *European Journal of Operational Research*. 182(2), (2007); p. 481-501.
10. FRAZELLE, Edward. *World-class warehousing and material handling*. New York: McGraw Hill, 2002.

11. Gademann, Noud. Van de Velde, Steef. Order Batching to minimize total travel time in a parallel-aisle warehouse. En: *IIE Transactions*. 37(1) ( 2005); p. 63-75.
12. GUE, Kevin, y MELLER, Rusell. The application of new aisle designs for unit-load warehouses. En: *Proceedings of the 2009 NSF CMMI engineering research and innovation conference*. (2009);p. 1-8.
13. GUTIÉRREZ. Valentina. Operación de centros de distribución: Guía didáctica para su mejoramiento. En *Revista Heurística*. Edición 12; (2002).
14. HAUSMAN, Warren. Schwarz, Leroy. Graves, Sthepen. Optimal storage assignment in automatic warehousing systems. En: *Management Science* 22(6), (1976); p. 629-638.
15. HERAGU, Sunderesh. *Facilities Design*. 2ª Edición. Estados Unidos: iUniverse, Inc., Lincoln,NE, 2006.
16. HOMPEL, Michael y SCHMIDT, Thorsten. *Warehouse Management*. Berlín: APringer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.
17. LAWLER, E.; LENSTRA, Jan; RINNOOY, Kann y SHMOYS, D. *The Traveling Salesman Problem*. Chichester : Wiley, 1995.
18. MINA, Gustavo. *Almacenamiento de los objetos*. Bogotá: Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA. 2007.
19. MONTENEGRO, Mario. *Automatización de centros de distribución*. Guatemala: Universidad Francisco Marroquín, Facultad Ingeniería de Sistemas Informática y Ciencias de la Computación. N° págs. 108, 2002.
20. SILVA, Álvaro. *Logística de almacenamiento*. Caracas: Tecana American University, 2006.
21. TOMPKINS, James. WHITE, John. BOZER, Yavuz. FRAZELLE, Edward. TANCHOCO, J.M.A. TREVINO, James. *Facilities Planning*. 2ª Edición. New York: John Wiley & Sons, Inc. ,2003.
22. TOMPKINS,James. WHITE, John. BOZER, Yavuz. FRAZELLE, Edward. TANCHOCO, J.M.A. *Planeación de instalaciones*. 3ª Edición. New York: John Wiley & Sons, Inc. 2006.
23. VIDAL, Carlos. *Planeación, optimización y administración de cadenas de abastecimiento*. Cali-Colombia: Editorial, Universidad del Valle, 2009.
24. ZHAO, Qihonh. Y CHEN, Edwin. An analytical study of the modification ability of distribution centers. *European Journal of Operational Research* 194, (2009); p. 901–910.