

**Universidad del Valle de Guatemala**  
**Facultad de Ingeniería**



**“Implementación de un modelo para la asignación de  
almacenamiento óptimo en la preparación de pedidos al  
detalle de un centro de distribución”**

Trabajo de graduación presentado por  
**Javier Enrique Bollat Montenegro**  
para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial

Guatemala  
2013



**“Implementación de un modelo para la asignación de almacenamiento óptimo en la preparación de pedidos al detalle de un centro de distribución”**

**Universidad del Valle de Guatemala**  
**Facultad de Ingeniería**



**“Implementación de un modelo para la asignación de  
almacenamiento óptimo en la preparación de pedidos al  
detalle de un centro de distribución”**


Trabajo de graduación presentado por  
**Javier Enrique Bollat Montenegro**  
para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial

Guatemala  
2013

Vo. Bo.:

(f)   
Ing. José Antonio Medrano

Tribunal Examinador:

(f)   
Ing. Pedro Arguedas

(f)   
Lic. Raúl Dacaret

(f)   
Ing. José Antonio Medrano

Fecha de aprobación: Guatemala 25 de enero del 2013

<<Sólo lo que hace bueno al hombre puede hacerle feliz>>

San Agustín

Todo mis éxitos se los debo a Dios, a la Virgen María y a mi familia. Gracias por estar siempre a mi lado.

Este proyecto fue elegido como “Best Practice” y fue implementado en Centro América y el Caribe.

# ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE GRÁFICAS .....	ix
LISTA DE TABLAS .....	x
RESUMEN .....	xi
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS .....	3
A. Objetivo general: .....	3
B. Objetivos específicos: .....	3
III. JUSTIFICACIÓN .....	4
IV. MARCO TEÓRICO .....	5
A. Centro de distribución .....	5
1. Funciones básicas .....	5
2. Actividades básicas .....	5
B. Warehouse Management System (WMS) .....	6
C. Algoritmos y técnicas utilizadas para el modelo de optimización .....	8
V. Descripción del almacén donde se implementó el modelo .....	14
A. Descarga .....	14
B. Almacenamiento .....	14
C. Asignación de transporte .....	14
D. Creación de tareas .....	15
E. Preparación de pedidos al detalle .....	15
F. Preparación de pedidos por tarimas .....	15
G. Reabastecimiento .....	15
H. Preparación del pedido en rampa .....	15
I. Carga .....	15

J. Descripción del diseño del área de pedidos al detalle .....	16
VI. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE ASIGNACIÓN ÓPTIMA .....	17
A. Planear .....	18
B. Hacer .....	21
C. Revisar .....	25
C. Actuar .....	32
D. Ajustar .....	33
VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	35
A. Resultados de distancia recorrida por los operarios .....	35
B. Resultados de tiempo.....	37
C. Resultados económicos .....	39
VIII. CONCLUSIONES.....	42
IX.RECOMENDACIONES .....	43
X. BIBLIOGRAFÍA .....	44
XI. APÉNDICES.....	47

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Descripción de los componentes necesarios para que WMS funcione.....	6
Figura 2: Combinaciones de productos que Amazon realiza .....	9
Figura 3 Dendograma .....	11
Figura 4: Conglomerados de K-media.....	12
Figura 5: Círculo de mejora continua.....	17
Figura 6: Diseño de almacenamiento por rotación .....	19
Figura 7: Modelo de almacenamiento óptimo utilizando la mitad de los pasillos .....	20
Figura 8: Vías en los pasillos de la bodega según WMS .....	25
Figura 9: Criterios para medir la base de un producto .....	25
Figura 10: Coordenadas del almacén.....	26
Figura 11 Medición de la variable de salida "métrica mismo pasillo" .....	27
Figura 12: Pases de transferencia.....	33
Figura 13 Diagrama de flujos de efectivo .....	40

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Resultados de estudio de tiempo.....	18
Gráfica 2: Clasificación de códigos de acuerdo a su frecuencia .....	21
Gráfica 3: Resultados de distancia recorrida al mes .....	35
Gráfica 4: Comportamiento de la variabilidad de distancia .....	37
Gráfica 5: Tiempo en completar un pedido.....	37
Gráfica 6: Tiempo en completar un pedido por ubicación .....	38
Gráfica 7: Minutos en completar un pedido .....	38

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Descripción de mediciones de distancia para cada “cluster”.....	11
Tabla 2: Clasificación de productos de acuerdo a frecuencia .....	20
Tabla 3: Matriz de frecuencias de productos en la misma orden .....	22
Tabla 4: Resultados de simulación de la variable de salida distancia.....	28
Tabla 5: Resultados de simulación de la variable de salida métrica mismo pasillo .....	28
Tabla 6: Resultados entre métodos de conglomerados .....	32
Tabla 7: Resumen de ahorros aproximados por mes de km .....	36
Tabla 8: Resultados pronosticados vs. reales .....	36
Tabla 9: Cantidad de camiones listos para cargar en un tiempo estimado. ....	39
Tabla 10: Datos de salarios .....	39
Tabla 11: Datos para ahorros económicos .....	39
Tabla 12: Estimación de costo implementación .....	40
Tabla 13: Flujos de efectivo por un mes .....	41

## RESUMEN

Durante los últimos tres años, la demanda de productos de higiene personal en una empresa trasnacional ha incrementado significativamente. Esto ha hecho que la operación de completar las órdenes de productos y la distribución sea más exigente. El ingreso de órdenes de productos en la tarde ha ocasionado que las tareas de pedidos al detalle se tarden en completar y que haya demoras en rampas de carga. Para los fines de esta investigación, los pedidos al detalle o “picking” en inglés, son órdenes de productos de cantidades pequeñas que no logran llegar al volumen mínimo para ser completadas por medio de una tarima completa.

El modelo busca reducir la distancia recorrida de los operarios en el área de “picking” de un centro de distribución en un 20%. El proyecto se basa en agrupar los productos con mayor probabilidad de aparecer juntos en una orden de trabajo de “picking”, con el fin de que el operario complete los pedidos en la menor cantidad de pasillos. Previo a desarrollar el proyecto, un operario recorría alrededor de 129 metros al completar una orden de “picking” por la asignación inadecuada de productos en las ubicaciones de la bodega. Es por esto que surgió la necesidad de crear este proyecto, ya que de dicha forma se incrementará la productividad del centro de distribución ubicado en la Ciudad de Guatemala.

Este proyecto busca mejorar el tiempo y distancia del área de “picking” por medio de algoritmos de investigación de operaciones e ingeniería de métodos. El modelo de asignación de almacenamiento de este proyecto se fundamenta en algoritmos como análisis de la cesta de compras, análisis de conglomerados y simulación de Monte Carlo. Con el objetivo de juntar los productos que generalmente se piden juntos en un mismo pasillo, se realizó un análisis de la cesta de compras. Este análisis se hizo obteniendo una matriz de similitud que muestre las probabilidades que cada producto aparezca en conjunto con otro. La matriz de similitud será básica para aplicar un análisis de conglomerados que muestre el agrupamiento de los productos que deben colocarse en el mismo pasillo por su alta probabilidad de aparecer en la misma orden. Ya habiendo formado el diseño, se hará una simulación con Monte Carlo para verificar que dicha propuesta es mejor que la anterior. La implementación del nuevo modelo de ubicación se hizo trasladando 40 códigos diarios por dos semanas durante el mes de mayo del 2012.

# I. INTRODUCCIÓN

La tarea principal de un centro de distribución es abastecer el pedido de un cliente con las cantidades exactas y en el tiempo preciso acordado. El incremento de la demanda y de la competencia ha provocado que el proceso de distribución sea más exigente, eficiente y rápido. Las compañías han incrementado significativamente la inversión del control de sus almacenes ya que en los países occidentales los costos de distribución ocupan aproximadamente el 10% de sus ventas. (Duckie, fishbone)

Completar pedidos es una de las tareas más significantes de un centro de distribución, puesto que ocupa la mayor cantidad de tiempo y costo. Se estima que alrededor del 60% del tiempo y 55% de los costos operativos de un almacén se deben al proceso de completar pedidos. (Manzini, 2004). La eficiencia de esta actividad fundamental, depende de factores como la demanda de los productos, el diseño del centro de distribución, la ubicación de los productos, los métodos de ruta de los operarios, la experiencia de los trabajadores, la cantidad de equipo, el nivel de orden del almacén y la ayuda de software o herramientas de automatización.

Alrededor del 50% del tiempo en completar un pedido al detalle en un centro de distribución se debe a la distancia que recorrió el operario para completar el mismo (Duckie, 2005). Esto indica que la asignación de productos en las ubicaciones del centro de distribución juega un papel fundamental para la eficiencia operativa del almacén. Un pedido al detalle en esta investigación es aquel que posee productos que la cantidad de bultos o cajas, es menor a la cantidad que posee una tarima completa.

Es muy común encontrar bodegas organizadas por familias; es decir, en cada pasillo se encuentran productos de una sola categoría; sin embargo a pesar que son modelos lógicos no necesariamente son los más eficientes. El modelo desarrollado en esta investigación se apoya en modelos matemáticos para agrupar los productos con alta probabilidad de aparecer juntos en la misma orden. Este concepto se fundamenta con algoritmos como análisis de la cesta de compras junto con análisis de conglomerados y es lo que utilizan ciertos sitios de comercio en línea, tal como Amazon.com. En este sitio, cuando un cliente compra un artículo, se detectan cuáles productos son altamente probables de comprarse juntos. Luego, el sitio recomienda comprar esos productos bajo la frase: "Las personas que compraron este artículo también compraron esto...". Esta frase puede adecuarse a lo que este proyecto trata de hacer, lo cual es: "Los operarios que recogieron este artículo también recogieron esto...".

Al formar el mapa de ubicación de productos o "layout", tomando en cuenta el criterio de agrupación de códigos con alta frecuencia de aparecer en al misma orden de pedidos al detalle, se incrementa la probabilidad de que los productos de una orden se encuentren en la menor cantidad de pasillos. Este concepto es la idea principal del modelo de almacenamiento planteado en esta investigación, ya que de dicha forma el tiempo y la distancia para completar una orden de pedidos al detalle disminuye significativamente.

## II. OBJETIVOS

### A. Objetivo general:

Implementar un modelo de asignación de almacenamiento óptimo en la preparación de pedidos al detalle en un centro de distribución de una empresa de productos de higiene personal.

### B. Objetivos específicos:

1. Elaborar un “layout” del centro de distribución que muestre el almacenamiento óptimo de los productos que representan el 80% del movimiento en la preparación de pedidos al detalle.
2. Disminuir en un 20% la distancia recorrida actual para completar una orden de la preparación de pedidos al detalle.
3. Disminuir en un 10% el tiempo promedio en completar una orden de pedido al detalle en el centro de distribución.
4. Realizar un análisis económico de ahorro al incrementar la productividad de la preparación de pedidos al detalle.
5. Elaborar un plan de seguimiento que permita una mejora continua al “layout” implementado.

### III. JUSTIFICACIÓN

Con el fin de incrementar la productividad y el desempeño del área de “picking” del centro de distribución de una empresa dedicada a productos de higiene personal, se decidió realizar un modelo de asignación de almacenamiento óptimo. Los operarios del área de “picking” caminan tramos innecesarios por la mala ubicación de los productos, ya que se ha logrado determinar que alrededor del 50% del tiempo para completar una tarea de “picking” se gasta en viajar a las ubicaciones de productos o a rampas. Es por esto que se vio la necesidad de buscar una forma de ordenar los productos que minimice la distancia recorrida para completar una orden. Este proyecto se realizó con el objetivo de disminuir el desperdicio de distancia recorrida y tiempo necesario para completar una tarea de “picking”. Sabiendo que se puede utilizar el tiempo ahorrado de preparar órdenes en otras actividades como paletizar o cargar, se puede mejorar el tiempo en completar un pedido y el tiempo de carga.

A pesar de querer hacer este proyecto para el beneficio de la productividad, también se desea ayudar a los operarios reduciendo la fatiga por caminar excesivamente. Este proyecto se llevó a cabo en conjunto del personal para hacerlos sentir parte del cambio y enriquecer el proyecto.

Se hizo este proyecto con el fin de utilizar varios de los conceptos obtenidos en la carrera de Ingeniería Industrial. El desarrollo de dicho modelo involucra el planteamiento de soluciones basadas en logística, administración y costos. Este proyecto permitió aplicar varias áreas de ingeniería industrial, tal como ingeniería de métodos, investigación de operaciones, estadística, entre otras. Poder utilizar varios conocimientos en este proyecto contribuirá a que en la vida profesional se logre poner en práctica todas las herramientas dadas por la universidad.

## IV. MARCO TEÓRICO

### A. Centro de distribución

Los centros de distribución son infraestructuras que velan por el almacenamiento, consolidación y despacho de los productos en un área específica. El objetivo principal del diseño de un centro de distribución es minimizar el costo existente de establecer y operar un almacén. La meta de la distribución es poder abastecer los pedidos del cliente a tiempo y en la cantidad exacta ordenada (Naik, 2004).

#### 1. Funciones básicas

**a. Amortiguar.** Un centro de distribución puede amortiguar las fluctuaciones inesperadas de la demanda por medio de inventarios de seguridad (Naik, 2004).

**b. Consolidar.** Un almacén permite acumular y consolidar productos de varias plantas de manufactura u otros centros de distribución para cumplir con los pedidos de los clientes (Naik, 2004).

**c. Responder.** Permite generar una respuesta rápida a las órdenes de los clientes (Naik, 2004).

#### 2. Actividades básicas

**a. Recepción del producto.** En este proceso, los productos son recibidos con una notificación previa a la llegada del almacén. Los productos son descargados del medio de transporte para que posteriormente se asegure que la cantidad y calidad de lo acordado se encuentre en el pedido recibido (Naik, 2004)

**b. Pre-ensado.** Los productos descargados se clasifican de acuerdo a los criterios del centro de distribución. Si los productos vienen a granel, se deben empacar o envasar en un recipiente que permita el almacenaje dentro de la bodega. Los productos envasados se les coloca un código de barras o etiqueta que identifique el pedido (Naik, 2004).

**c. Almacenaje.** En este proceso los productos que ingresaron se les asigna una ubicación de almacenamiento y se transportan a la misma. Los productos permanecen en la ubicación asignada hasta que son demandados (Naik, 2004).

**d. Proceso de completar pedidos.** Los pedidos de los clientes se comienzan a preparar por medio de este proceso, ya que se remueve la mercadería deseada de las ubicaciones del almacén para satisfacer una demanda específica (Naick, 2004).

**e. Embalaje y envío.** Es una combinación de varias actividades que involucran las siguientes (Naick, 2004):

- Empaque de objetos en contenedores adecuados de envío
- Preparación de documentos de envío
- Revisión de órdenes completadas
- Acumulación de órdenes

**f. Cross docking.** Este termino en inglés se utiliza en las bodegas de mucho movimiento. Si un producto que esta a punto de ingresar a la bodega fue pedido por un cliente, no hay necesidad de almacenarlo, puesto que puede dirigirse al área de envío reduciendo de dicha forma tiempo y costo (Naik, 2004).

## B. Warehouse Management System (WMS)

El Sistema de Administración de Bodegas o WMS por sus siglas en inglés, es un sistema integrado por software , hardware y sistema de comunicación de radio frecuencia. Este software integra las actividades mecánicas y humanas con un sistema de información para manejar de una forma efectiva los procesos y actividades de un centro de distribución. WMS permite automatizar las tareas de recepción de productos, almacenaje, salidas y sugiere los conteos de inventario cíclico (Accpac, 2003). Esta herramienta contribuye a que la transferencia y visualización de datos se realice en tiempo real con la ayuda de los equipos de radio-frecuencia.

La Figura 1 muestra como WMS necesita de tres componentes básicos para su uso en un almacén, lo cual son: SAP, dispositivo electrónico que emite radiofrecuencia y un software WMS. Al integrar estos componentes, la bodega puede ser controlada y administrada por dicho sistema integral. (Accpac, 2003)

**Figura 1: Descripción de los componentes necesarios para que WMS funcione**



**1. Radiofrecuencia.** Utilizando la radiofrecuencia, los operarios pueden realizar las mismas transacciones que una computadora puede hacer por medio de sus dispositivos electrónicos inalámbricos. Esta tecnología permite a los operarios conocer y confirmar las tareas de completar pedidos en cualquier parte del centro de distribución. Algunos de los beneficios más importantes son:

- Reducción de tiempo de tareas
- Eliminación de planillas manuales
- Reducción de errores
- Realización de tareas en sitio
- Conexión en línea con SAP.

**2. Procesos que WMS administra.** El software WMS permite facilitar la operación del centro de distribución controlando y administrando los siguientes procesos (Prospecta, 2008):

- Ingreso de producto al centro de distribución:
  - Descarga y conteo
  - Ingreso importación
  - Definición de destino y etiquetado
- Almacenaje:
  - Almacenamiento
  - Cross docking
- Completar pedidos del cliente:
  - Completar pedidos por montacargas
  - Completar pedidos con transpaleta
  - Control de embarques
  - Confirmación de salidas
- Movimientos internos
  - Movimientos entre ubicaciones
  - Reabastecimiento a ubicaciones de pedidos al detalle.
- Inventarios
  - Control de inventario
  - Confirmación con diferencia

**a. Completar pedidos del cliente.** La administración vela por todos los trámites de liberación de los pedidos del cliente, la confirmación del pedido y la consolidación de órdenes en un camión. En el momento que las órdenes se les asigna un furgón, WMS

automáticamente genera las tareas a los operarios para completar el pedido. Estas tareas son creadas de tal forma que la ruta de visitar las ubicaciones sea la más corta. Las tareas mostradas en el dispositivo electrónico “handheld” se dividen en dos, lo cuál son: órdenes de tarima completa y órdenes de pedidos al detalle. (Prospecta, 2008)

**1) Tareas de órdenes de tarima completa.** Los pedidos que son mayores a la cantidad de bultos o cajas de un producto en una tarima, son completados por operarios con montacargas. Los montacarguistas reciben la tarea en el dispositivo electrónico con la ubicación de la tarima del producto para que puedan transportarse a ella y completar la tarea. Los operarios escanean la ubicación y el sistema les notifica si es la correcta para que puedan confirmar la tarea. Esta confirmación del sistema les permite a los operarios bajar la tarima de la estantería y transportar el producto a la rampa indicada.

**2) Tareas de órdenes de pedidos al detalle.** Los pedidos que son menores a la cantidad de bultos o cajas que se encuentra en una tarima completa, son completadas manualmente por operarios con la ayuda de una transpaleta y una tarima. El área de pedidos al detalle o “picking” en inglés, se localiza en el primer piso de las estanterías por la facilidad de tener acceso a los productos sin la necesidad de utilizar un montacargas. Las tareas son recibidas por medio de los dispositivos electrónicos portátiles que cada operario posee, y cada una le indica al trabajador la ubicación del producto y las cantidades exactas que debe colocar en la tarima (Prospecta, 2008). Previo a colocar los productos en la tarima, el operario debe escanear la boleta de la ubicación para confirmar si es la indicada (Ford). Esto permite asegurar que el producto elegido sea el indicado por la tarea.

Las tareas de pedidos al detalle pueden visitar varias ubicaciones para completar un pedido, sin embargo solo pueden entregar en una sola rampa. WMS crea las rutas de las tareas minimizando la distancia entre ellas, al igual que tomando en cuenta que no sobrepase el volumen máximo preestablecido de los productos estibados en la tarima.

## **C. Algoritmos y técnicas utilizadas para el modelo de optimización**

**1. Análisis de cesta de compras.** Es un análisis que permite determinar los hábitos de compra de los clientes por medio de asociaciones o correlaciones entre distintos productos que se compran en la misma orden. Este análisis tiene una gran aplicación en áreas

de mercadeo y ventas, ya que les permite conocer cuáles productos se compran juntos (Mittal, 2008).

La idea básica de esta metodología es identificar los productos que generalmente se piden en la misma orden de compra para colocarlos juntos a la hora de su venta. Amazon.com utiliza este concepto a la hora de ofrecer un producto a los clientes, ya que siempre muestra un listado de varios productos sugeridos que tienen una alta probabilidad de comprarse juntos (Mittal, 2008).

Este método de conocer los productos con alta probabilidad de aparecer en la misma orden se puede ilustrar por medio de la compra de una cámara digital en Amazon.com. Este sitio web sabe que la mayoría de clientes también piden otros artículos muy frecuentes al comprar la cámara y es por esto que mostrará artículos como cables, estuche, baterías, tarjetas de memorias, entre otras. La Figura 2 ilustra como Amazon.com crea combinaciones de productos que generalmente se piden juntos para obtener mayor ventas.

**Figura 2: Combinaciones de productos que Amazon realiza**

### Frequently Bought Together



Los supermercados también utilizan esta estrategia para incrementar sus venta. Un estudio realizado en un supermercado determinó que los hombres que entraban en la noche a comprar cerveza también compraban pañales (Ford). Al darse cuenta de dicha tendencia, decidieron colocar cervezas cerca del pasillo de los pañales para incrementar el consumo. Este y muchos más ejemplos como el de poner baterías cerca de aparatos electrónicos son muestras que las empresas de gran trayectoria están utilizando dicha herramienta para incrementar sus ventas.

**2. Análisis de conglomerados.** El análisis de conglomerados o "clustering" en inglés, es una técnica muy poderosa para agrupar conjuntos de datos muy similares entre sí. Los grupos de los datos se les llama "clusters" y cada uno de ellos se describe como una clase en donde sus miembros les pertenece. El análisis de Conglomerados permite descubrir asociaciones y estructuras en los datos que puede que no sea evidente previo de hacer el análisis (Mooi, 2011).

El análisis de conglomerados organiza los datos en clases de acuerdo a sus niveles de expresión. Este agrupamiento es determinado por la distancia medida entre las clases y cada dato. Los “clusters” pueden ser identificados por medio de la medición de la distancia o alguna medida de similitud, tal como la correlación (Mooi, 2011).

Los dos métodos más comunes para el análisis de conglomerados son:

**a. Conglomerados jerárquico aglomerativo.** Este método es el más utilizado en la estadística para los análisis de expresión de genes. Este algoritmo comienza considerando cada objeto como un “cluster”, para que posteriormente se vayan agrupando de acuerdo a su similitud. Lo primero que realiza este método es agrupar los objetos más parecidos y por medio de jerarquías continua haciéndolo con los grupos más similares entre sí. Esta jerarquía indica qué tan similares son los grupos formados (Mooi, 2011).

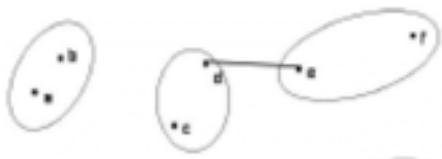

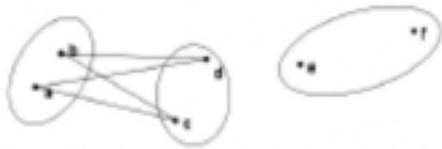
Antes de realizar un análisis de conglomerados es necesario establecer la medición de la distancia de los datos. Algunas de las mediciones más comunes son (Distance metrics overview):

- La distancia Euclidiana
- La distancia Euclidiana al cuadrado
- Manhattan
- Correlación de Pearson
- Correlación de Pearson al cuadrado
- Correlación de Spearman

La medición de distancia entre las clases o “clusters” es necesario identificarla previo hacer el análisis. Esta medición permite determinar la forma en que se va conocer la distancia que cada dato se encuentra del “cluster” (Vicente). Algunas de las mediciones más utilizadas son:

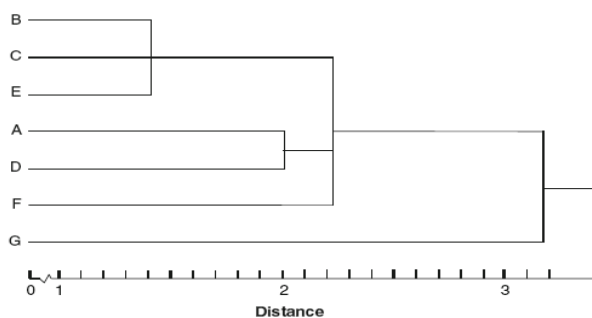
- Vinculación promedio: Es aquella en donde la distancia entre los “clusters” es el promedio de las distancias de todos los puntos en esas clases.
- Vinculación simple: La distancia entre los “clusters” es la distancia entre los vecinos más próximos de esas clases.
- Vinculación competitiva: La distancia de dos “clusters” es la distancia entre los puntos más lejanos de esas clases.

**Tabla 1: Descripción de mediciones de distancia para cada “cluster”**

Método	Ilustración
Vinculación simple	
Vinculación completa	
Vinculación promedia	

Una forma gráfica de representar este tipo de conglomerados es un dendrograma, ya que muestra la distancia de similitud que cada clase obtiene por jerarquías. Este dendrograma se lee de derecha a izquierda para determinar la distancia de similitud que cada objeto fue agrupado. En la Figura 3 se puede observar como los objetos B,C y E fueron combinados en la distancia 0.414 (Naick, 2004).

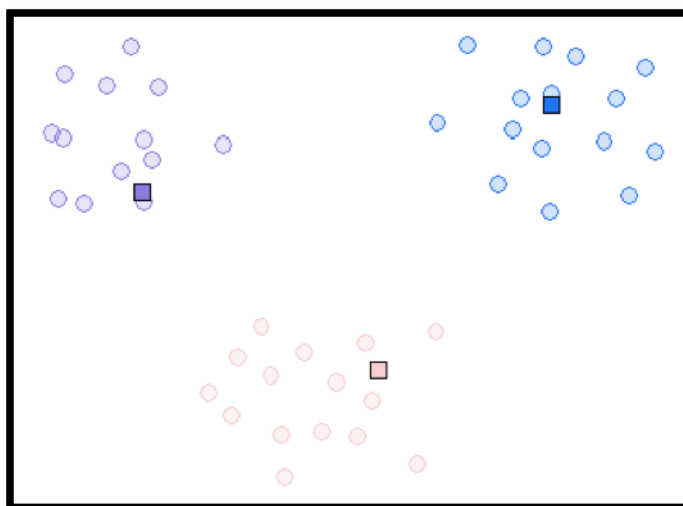
**Figura 3 Dendrograma**



**b. K-media.** Uno de los algoritmos más utilizados en la investigación es el k-media. Este es un método de partición ya que busca formar grupos los cuales serán representados por “k” objetos (Fernández, 2004).

Este algoritmo comienza a seleccionar de una forma aleatoria, k objetos del conjunto de datos para que sean los centroides iniciales de los “clusters”. La asignación de cada dato en los grupos se da por medio de la medición de distancias entre el dato y el centroide. Los datos se asignan a aquellos grupos cuya distancia es mínima con respecto a todos los centroides. Los centros del grupo se actualizan como el valor medio de todos los objetos asignados a los grupos para que posteriormente vuelva a comenzar la iteración de agrupar datos hasta que satisface algún criterio de convergencia. La Figura 4 muestra claramente como dentro los datos se encuentran los centroides que minimizan la distancia entre sus objetos agrupados (Vicente).

**Figura 4: Conglomerados de k-media**



El algoritmo de k medias es principalmente iterativo y por lo tanto lo hace difícil de predecir su convergencia a la solución óptima. El rendimiento del algoritmo de k-medias depende de la posición inicial de los centroides de cada “cluster” (Naik, 2004).

**3. Simulación de Montecarlo.** La simulación es la imitación de características y comportamientos propios de un sistema real. El método de Montecarlo permite resolver problemas mediante la simulación de variables aleatorias para que los resultados permitan tomar decisiones (Rodríguez-Aragón,2011). La construcción de este modelo matemático y lógico permite representar un sistema con el fin de experimentar con él, y al mismo tiempo ver su comportamiento para tomar una decisión (Jamarillo, 2009).

Según la Facultad de Ciencias Exactas, la simulación de Montecarlo permite realizar un muestreo sistemático a base de variables aleatorias para asemejar un caso o escenario (2005). La simulación de Monte Carlo es una técnica económica que permite ofrecer varios escenarios posibles de una solución y contribuye a que las equivocaciones se identifiquen y no causen impacto en el sistema real.

Este método estadístico repite muchas veces el modelo con el fin de determinar los posibles escenarios y los más probables. La cantidad de iteraciones depende del nivel de confiabilidad y error que se desee obtener. La Fórmula 1 permite determinar el número de muestra necesario para la simulación de Montecarlo (I Six Sigma, 2012).

**Fórmula 1:**

$$n = \left[ \frac{z_{\alpha/2} \sigma}{E} \right]^2$$

donde:

n= número de muestras

$z_{\alpha/2}$  = el valor de z con la confiabilidad deseada

$\sigma$  = desviación estándar

E = error

Para que un modelo sea planteado y solucionado adecuadamente, es necesario implementar estas etapas del proceso de simulación (Rodríguez, 2011):

- Definición, descripción del problema y objetivo.
- Formulación del modelo
  - Identificación de variables de entrada
  - Identificación de variables de salida
- Programación
- Verificación y validación del modelo
- Diseño de experimentos y plan de corridas
- Análisis de resultados

## **V. Descripción del almacén donde se implementó el modelo**

El centro de distribución utilizado para la realización de este proyecto se ubica en la zona 12 de la Ciudad de Guatemala con 10,000 m<sup>2</sup> de construcción y se dedica a distribuir productos para la higiene personal. Este almacén responde a la demanda con productos provenientes de países como México, Costa Rica, Estados Unidos, Colombia, Perú y otros países latinoamericanos. Este almacén cuenta con más de 450 distintos códigos de productos y logra despachar pedidos a todos los departamentos de Guatemala dentro de un período máximo de tres días desde que el cliente hace la orden hasta que la recibe.

El almacén posee 12 pasillos con estanterías metálicas de 4 niveles de 2.10 metros de altura y con 10,720 ubicaciones de almacenaje. Las dimensiones de cada ubicación contiene 2.10 metros de alto, 1.4 de ancho y 1.2 de largo. El centro de distribución tiene doble profundidad en los pasillos, ya que cuenta con un túnel en la parte de en medio de la bodega. Esta infraestructura cuenta con 27 rampas, las cuales 17 son de carga y 10 de descarga.

Los procesos más relevantes del centro de distribución ubicado en la ciudad de Guatemala son:

### **A. Descarga**

Este consiste en vaciar el camión proveniente de fábrica. En este proceso los productos se estiban en una tarima, se cubre con fleje y se le coloca la boleta con información necesaria para que posteriormente se almacene.

### **B. Almacenamiento**

Todo el producto entarimado en el área de descarga es transportado por montacargas a la ubicación asignada por el dispositivo electrónico.

### **C. Asignación de transporte**

Las órdenes de compras liberadas por crédito son asignadas a un camión con una determinada ruta. Los camiones son armados por medio de SAP, para que el pedido tenga un número de envío y se pueda completar.

## **D. Creación de tareas**

WMS obtiene los pedidos consolidados en un transporte y crea de forma automática tareas para que los operarios de la bodega realicen y completen la orden en rampa. Las tareas las divide de acuerdo a la cantidad de tarimas completas necesarias o cantidades al detalle.

## **E. Preparación de pedidos al detalle**

Este tipo de tarea que WMS asigna, se lleva a cabo cuando el pedido lleva cantidades de un producto que es menor a lo que una tarima completa posee. Es por esto que se acude a esta área para obtener cantidades pequeñas de un producto determinado.

## **F. Preparación de pedidos por tarimas**

Este proceso ocurre cuando la cantidad de un producto solicitado en una orden de envío es al menos una tarima completa del mismo. Esta preparación se da a cabo por medio de un montacargas y el producto es llevado a rampa.

## **G. Reabastecimiento**

La preparación de pedidos al detalle ocasiona que el producto disponible en las estanterías del primer piso se acabe. Esto provoca que WMS automáticamente genere una tarea de reabastecimiento de una tarima completa de producto a un operario de montacargas. Los reabastecimientos se dan cuando la cantidad de cajas o bultos en una ubicación llega a ser igual o menor al punto de reorden.

## **H. Preparación del pedido en rampa**

El pedido solicitado por WMS y ya completado por los operarios en rampa, se ordena de acuerdo a especificaciones del cliente tal como entarimado, flejeado, entre otras. El producto ordenado es revisado que posee las cantidades adecuadas y posteriormente se carga.

## **I. Carga**

Todo el pedido revisado y ordenado en el proceso anterior se coloca estratégicamente en el furgón. Esto es realizado por el piloto y algunos ayudantes.

## **J. Descripción del diseño del área de pedidos al detalle**

El diseño del área de “picking” previo a la realización de este proyecto se basaba en agrupar productos en cada pasillo de acuerdo a su categoría. En el caso de este centro de distribución, en un pasillo se encontraba todos los productos de papel higiénico, en otro solamente las toallas femeninas y de dicha forma se colocaban juntos los códigos de la misma familia de productos.

La estrategia de asignación de almacenamiento a los productos era inadecuada por su mala distribución. El área de pedidos al detalle contaba con productos de alto movimiento localizados en la parte de atrás de los pasillos y muchos se encontraban lejos de las rampas de carga. Las ubicaciones cercanas a las rampas se encontraban vacías o con producto de bajo movimiento. Se podía observar que frecuentemente los operarios visitaban pasillos lejanos solo para recoger un producto de alto movimiento que se encontraba aislado. Este desorden y mala ubicación estratégica de los productos causaba que los operarios caminaban tramos innecesarios.

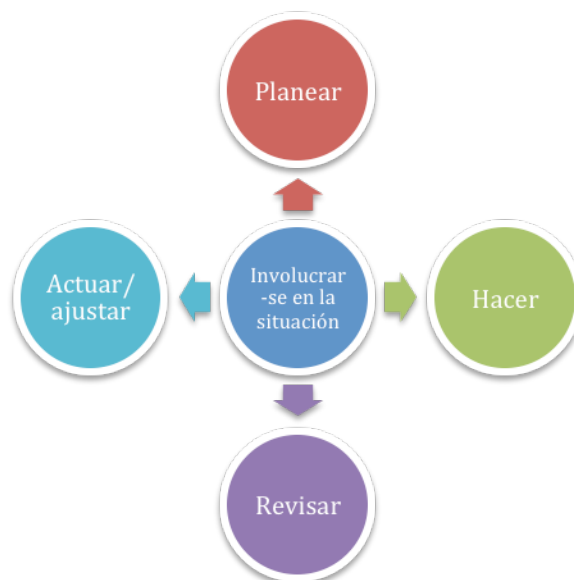
## VI. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE ASIGNACIÓN ÓPTIMA

La preparación de pedidos al detalle es una operación que tarda aproximadamente 5.42 minutos en realizar por cada orden de trabajo. Las largas distancias innecesarias que recorren los operarios en distintos pasillos para completar los pedidos, ha ocasionado que las tareas completadas en rampa sean más lentas. Antes de realizar la investigación, un operario caminaba alrededor de 129 metros en completar una tarea de pedidos al detalle.

A través de un estudio de tiempo, se logró identificar que alrededor de 47% del tiempo en una tarea de “picking” se debía a la distancia recorrida para completar un pedido. Es aquí donde se generó la oportunidad de buscar diversos diseños de almacenamiento de los productos de “picking”, con el fin de minimizar la distancia recorrida por el operario.

Siguiendo la metodología del círculo de Deming de mejora continua, se logró desarrollar el modelo de asignación de almacenamiento óptimo. Los pasos planear, hacer, revisar y actuar o ajustar permitieron el éxito del modelo, ya que logró estructurar el proyecto en su realización. Durante todos los pasos de mejora continua siempre existió la fase de involucrarse en la situación.

**Figura 5: Círculo de mejora continua**

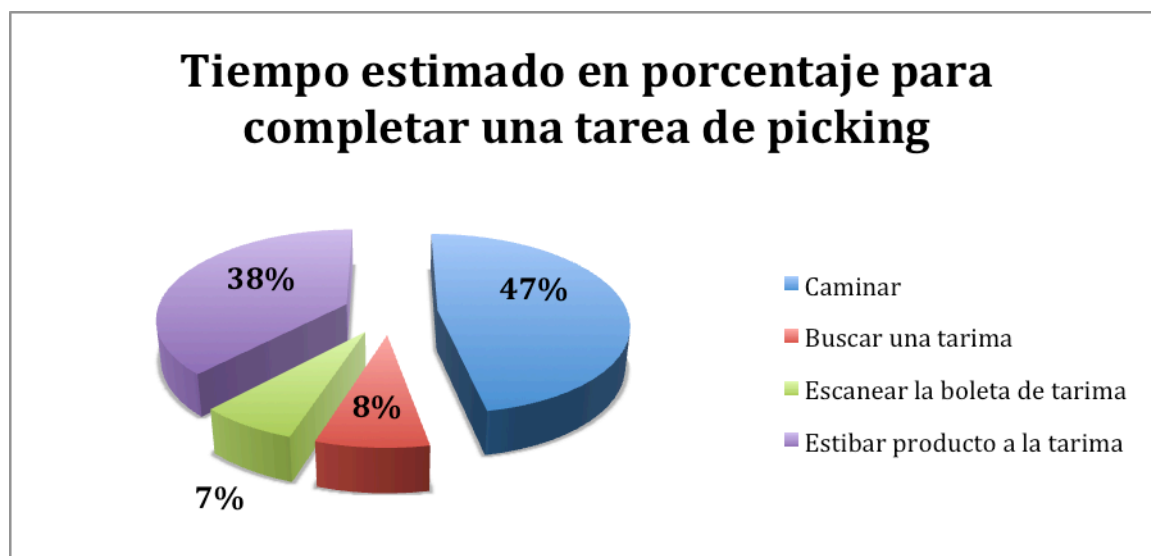


## A. Planear

Durante esta etapa se realizó un plan detallado por semana que mostraba los objetivos y alcanzables a cumplir, al igual que los procesos para llegar a ellos. Conocer el proceso fue una parte importante y es por esto que por más de dos semanas se realizó el trabajo que un operario realiza todos los días, con el fin de comprender de una forma vivencial el proceso.

Elaborando un estudio de tiempos, se logró identificar que alrededor de la mitad de tiempo en completar una tarea de “picking” se debe a la distancia que un trabajador recorre. Es por esto que se le dio mucha importancia en la asignación de ubicaciones a productos del área de “picking”.

**Gráfica 1: Resultados de estudio de tiempo**



Al estar constantemente involucrado con el personal y comprender correctamente la situación de “picking”, se logró establecer las partes básicas para lograr resolver un problema de una forma ordenada, lo cual son:

**1. Enunciado del problema.** Durante el período de enero y febrero del 2012, el tiempo para completar un pedido al detalle (“picking”) era de 5.42 minutos versus un objetivo de 4.87 minutos, esto ha ocasionado más de 1 hora desperdiciada diaria en la operación del centro de distribución.

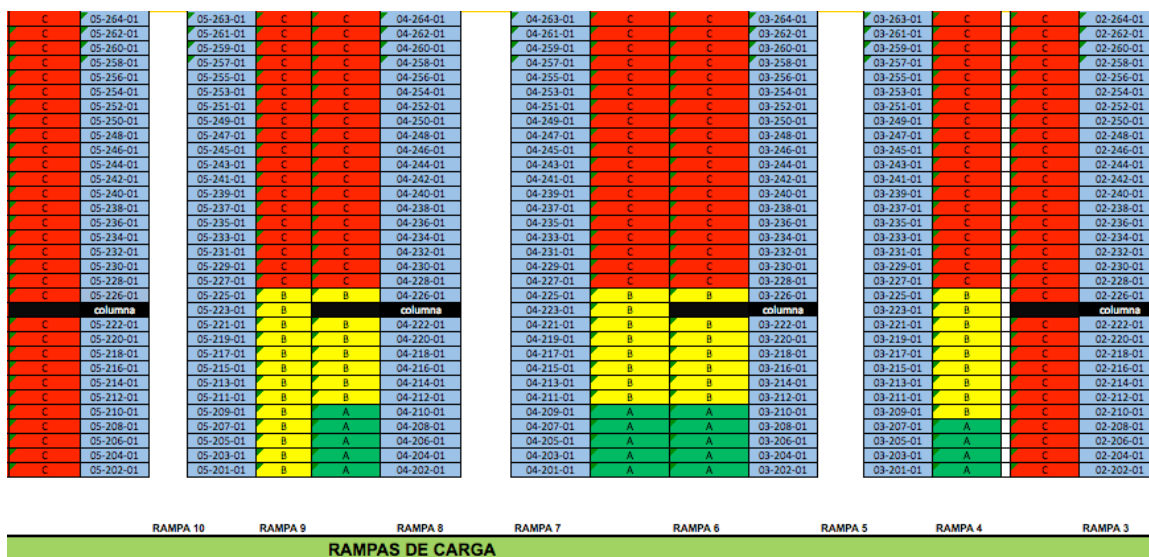
**2. Causa raíz.** No hay ningún estándar o procedimiento que indique la manera eficiente de asignar la ubicación de cada producto dentro del área de almacenamiento de “picking” para disminuir la ruta que los operarios realizan.

**3. Hipótesis – causa y efecto.** Si existiera un procedimiento que indicara la forma adecuada de asignar la ubicación de cada producto de “picking” con el fin de minimizar la ruta de los operarios; entonces el tiempo para realizar una tarea de “picking” sería de 4.87 minutos.

**4. Soluciones propuestas.** Esta etapa consistió en realizar propuestas de asignación de almacenamiento para los productos de “picking”. El objetivo era plantear modelos basados en la lógica para que posteriormente se compararán con el modelo fundamentado por algoritmos matemáticos. Las propuestas realizadas fueron las siguientes:

**a. Diseño lógico: Almacenamiento por rotación.** Esta forma de asignar productos es uno de los más utilizados a nivel mundial. Su diseño consiste en agrupar los productos con mayor rotación en la parte frontal de los pasillos para que se encuentren más cercanos a las rampas de carga. Para realizar esto, es necesario clasificar los productos con las letras A, B y C, de tal forma que el A constituye los código que representen más del 30% de rotación , el B 70% acumulado y C el 100% acumulado. La Figura 6 ilustra la forma en que los productos son asignados.

**Figura 6: Diseño de almacenamiento por rotación**



Nota: Este diseño se realizó utilizando pasillos completos y pasillos a la mitad.

**b. Diseño basado en algoritmos matemáticos:** Criterio por alta probabilidad de aparecer en un mismo pedido. Para la elaboración de dicho diseño se clasificaron los productos en: A, B, C y D, según su frecuencia en una orden de “picking” (ver Tabla 5) . El diseño se basa en la agrupación de productos de acuerdo a “clusters” con mayor similitud entre sí. Los “clusters” se realizaron combinando productos A y B, con el fin de utilizar el principio de Pareto y simplemente darle prioridad a dichos productos a la hora de ubicarlos. Los productos C también fueron agrupados por medio de algoritmos de clustering, sin embargo no se le mezcló ninguna otra categoría. En esta distribución los productos están ubicados solamente en la mitad de los pasillos. El detalle de la elaboración de este diseño se explica en la siguiente sección.

**Tabla 2: Clasificación de productos de acuerdo a frecuencia**

Clasificación	Porcentaje de rotación
<b>A</b>	0-30%
<b>B</b>	30%-80%
<b>C</b>	80%-95%
<b>D</b>	95%-100%

**Figura 7: Modelo de almacenamiento óptimo utilizando la mitad de los pasillos**

C184	624201	624101	C129	promocion	524201	524101	promocion	promocion	424201	424101	C 192	promocion	324201	324101	promocion
C189	624001	623901	C154	B 81	524001	523901	promocion	C 161	424001	423901	C 171	C 136	324001	323901	C 177
C167	623801	623701	C199	promocion	523801	523701	B 57	C 198	423801	423701	C 182	C 135	323801	323701	C 133
C175	623601	623501	C152	A 20	523601	523501	B 29	C 128	423601	423501	C 130	C 174	323601	323501	C 121
C179	623401	623301	C117	B 45	523401	523301	A 11	B 91	423401	423301	C 178	C 158	323401	323301	C 113
C141	623201	623101	C153	A 2	523201	523101	B 92	A 14	423201	423101	A 24	C 132	323201	323101	C 109
C104	623001	622901	C110	A 2	523001	522901	B 27	B 42	423001	422901	B 70	C 125	323001	322901	C 190
C108	622801	622701	C173	B 34	522801	522701	A 6	A 4	422801	422701	B 52	C 151	322801	322701	C 166
B76	622601	622501	C183	B 56	522601	522501	B 99	A 4	422601	422501	A 9	C 123	322601	322501	C 103
promocion	622401	622301	B100	promocion	522401	522301	A 10	promocion	422401	422301	B 74	promocion	322401	322301	C 138
B40	622201	622101	B98	A 12	522201	522101	B 60	B 82	422201	422101	B 38	B 64	322201	322101	C 197
B75	622001	621901	B89	B 39	522001	521901	B 87	A 1	422001	421901	A 3	B 44	322001	321901	C 122
A16	621801	621701	B71	B 35	521801	521701	A 22	A 1	421801	421701	A 3	B 41	321801	321701	C 170
B43	621601	621501	B30	A 25	521601	521501	B 33	B 54	421601	421501	B 31	B 62	321601	321501	C 165
B43	621401	621301	A15	B 49	521401	521301	A 21	B 90	421401	421301	A 19	B 88	321401	321301	C 164
A8	621201	621101	B79	B 55	521201	521101	B 37	A 5	421201	421101	B 66	B 53	321201	321101	C 169
B32	621001	620901	B85	B 84	521001	620901	A 23	A 5	421001	420901	B 96	B 36	321001	320901	promocion
B61	620801	620701	A16	A 7	520801	520701	B 73	B 65	420801	420701	B 68	B 89	320801	320701	C 159
A13	620601	620501	B97	B 46	520601	520501	B 77	B 59	420601	420501	A 17	B 94	320601	320501	C 120
B28	620401	620301	B51	B 72	520401	520301	B 50	E 327	420401	420301	E 407	B 78	320401	320301	C 142
promocion	620201	620101	B26	B 48	520201	520101	B 67	B 83	420201	420101	E 405	B 58	320201	320101	C 116

12	11	10	9	8	7	6	5
----	----	----	---	---	---	---	---

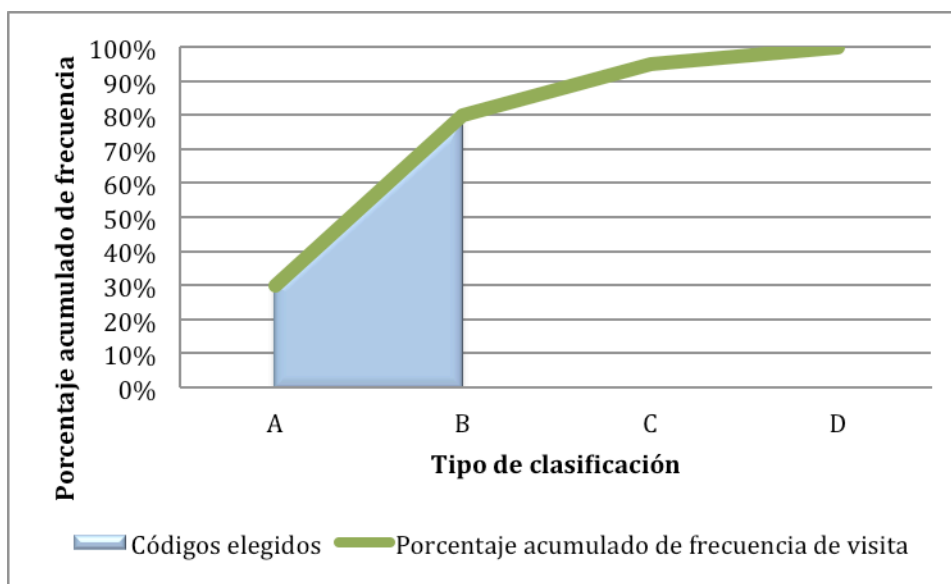
## B. Hacer

En esta parte se realizó el modelo de almacenamiento óptimo basado en los siguientes pasos:

**1. Elegir métrica.** A pesar que muchos consideran que la métrica para crear un modelo de almacenamiento eficiente es la rotación de productos, dicha investigación consideró la frecuencia de que cada operario visite un producto determinado en una orden de trabajo. Al momento de realizar el “picking”, el operario recorrerá la misma distancia al visitar una ubicación para obtener 100 cajas de un producto que solamente una caja. En otras palabras, el operario debe visitar las ubicaciones de “picking” sin importar la cantidad que le pidan y es por esto que se utilizó la frecuencia y se rompió el paradigma de utilizar rotación.

**2. Elegir productos.** Seleccionar estratégicamente la ubicación de 450 productos puede convertirse en una tarea engorrosa y con muchas opciones de combinación. Es por esto que se elaboró un Pareto de los códigos que representan el 80% que frecuentemente más se visitan en el área de “picking”. Este análisis permitió enfocarse primordialmente en 100 códigos, al igual que se logró desarrollar una clasificación de los productos basados en su frecuencia de visita en una orden de trabajo. Esta clasificación se puede observar en la Gráfica 2.

**Gráfica 2: Clasificación de códigos de acuerdo a su frecuencia**



**3. Análisis de cesta de compras.** Obteniendo un listado de todas las tareas realizadas por dos meses, se logró visualizar los productos pedidos en la misma orden. La información de dichas órdenes de trabajo o pedidos permitieron que se documentara la frecuencia de las veces que cada producto apareciera en la misma orden con otro producto. Esto se logró por medio de la formación de una matriz cuadrada como la que se muestra en la Tabla 3. La matriz permite observar la cantidad de veces que cada producto localizado en las filas se pidió en conjunto con los productos ubicados en las columnas.

**Tabla 3: Matriz de frecuencias de productos en la misma orden**

Producto	A	B	C	D	E	F	G	H
A		46	34	23	12	1	2	6
B	46		23	12	46	23	68	22
C	34	23		150	0	23	58	34
D	23	12	150		5	6	7	10
E	12	46	0	5		69	109	23
F	1	23	23	6	69		21	56
G	2	68	58	7	109	21		34
H	6	22	34	10	23	56	34	

Conociendo las frecuencias, el siguiente objetivo fue crear un coeficiente de similitud que permitiera indicar que tan probable un producto puede aparecer con otro. Según un estudio realizado en la Universidad de Bologna, uno de los métodos más eficientes para determinar la similitud de un producto con otro se basa en criterios de frecuencia (Binidi, Manzini, Pareschi, & Regattieri). La formulación de dicho coeficiente para los productos  $i$  y  $j$  es el siguiente:

**Ecuación 2**

$$S_{i,j} = \frac{a}{\left(a + \frac{1}{4}(b + c)\right)} \times \frac{\min\{F_i; F_j\}}{\max\{F_i; F_j\}}$$

donde:

$$a = \sum_{k=1}^n a_{ij}^*$$

$$b = \sum_{k=1}^n b_{ij}^*$$

$$a_{ij*} = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ si los dos productos } i \text{ y } j \text{ pertenecen a la misma orden} \\ 0 \text{ sino} \end{array} \right\}$$

$$b_{ij*} = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ si solamente el producto } i \text{ pertenece a la orden } k \\ 0 \text{ sino} \end{array} \right\}$$

$$c_{ij*} = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ si solamente el producto } j \text{ pertenece a la orden } k \\ 0 \text{ sino} \end{array} \right\}$$

$$d_{ij*} = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ si ninguno del producto } i \text{ y } j \text{ pertenece a la orden } k \\ 0 \text{ sino} \end{array} \right\}$$

$F_i$  es la frecuencia de aparición del producto  $i$  en todas las órdenes.

$F_j$  es la frecuencia de aparición del producto  $j$  en todas las órdenes.

Este coeficiente tiene como valor máximo 1 y representa que los dos objetos son altamente similares, mientras que el valor mínimo 0 indica que son completamente disímiles. Se puede observar que en el denominador se encuentra un  $\frac{1}{4}$  y esto contribuye a reducir el impacto de los coeficiente  $b$  y  $c$ .

La Ecuación 2 posee dos mediciones fundamentales para poder calcular el nivel de similitud entre los productos localizados en la matriz de distancias. El primer término permite medir la cantidad de veces que un producto aparece en conjunto con el otro. El segundo término de la ecuación permite medir la similitud de aparición en una orden, puesto que cuando el cociente es alto las dos frecuencias de los productos son similares.

**4. Análisis de conglomerados.** La matriz de similitud permitió crear una relación que guíe qué tan cerca tiene que estar un producto con otro para que su probabilidad de aparecer juntos sea alta. Por medio de un análisis de conglomerados jerárquico aglomerativo, se logró agrupar los productos con mayor probabilidad de aparecer juntos en la misma orden. Este algoritmo, agrupa data con alta similitud y es por esto que forma “clusters” que tienen características parecidas. En este caso esos “clusters” representan los grupos de códigos que

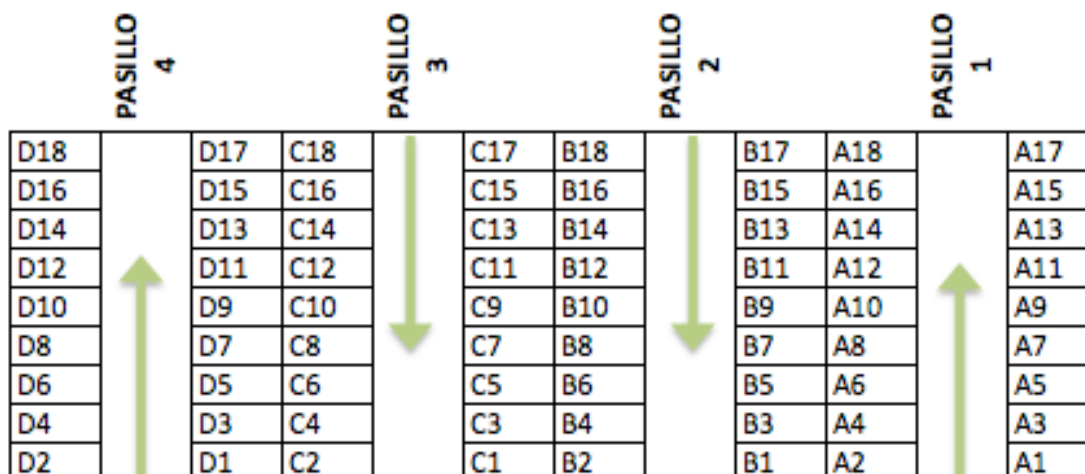
deben colocarse en el mismo pasillo, ya que tienen características similares por ser pedidos frecuentemente juntos. El objetivo de ubicar cada cluster en un distinto pasillo, es que incrementa la probabilidad de que un operario encuentre todo lo que necesite recorriendo la menor cantidad de pasillos.

**5. Análisis del peso.** La preparación de pedidos al detalle se realiza por medio de una tarima y una transpaleta. Los operarios deben estibar los productos en la tarima hasta completar el pedido y entregarlo a rampa. El transporte de diversos productos de distintos volúmenes y pesos pueden contribuir al balance de los productos estibados. Al momento de estibar productos de bajo peso e inestable como base, el pedido completo puede desbalancearse y provocar que varios productos se derrumben. Este fenómeno puede dañar los productos, pero también provoca tiempo perdido en la operación por estar reacomodando la tarima.

Este diseño de almacenamiento también tomó en cuenta el peso y volumen de un producto con el fin de mejorar la base de los productos estibados durante una orden de “picking”. El objetivo principal fue incrementar la probabilidad de que los primeros productos recogidos y estibados en la tarima fueran de una base sólida y de dicha forma prevenir el desbalance de la misma. Es por esto que se realizó un criterio de medición para clasificar a cada producto de acuerdo a su calidad de base. La Tabla 3, muestra algunos criterios que se utilizaron para clasificar los productos de acuerdo a su adecuada base.




WMS tiene una ruta pre-establecida de “picking” en donde de acuerdo a las vías de cada pasillo, los operarios comenzaran a completar las órdenes. La Figura 8 muestra las vías de acuerdo a los pasillos del almacén y se puede notar que los pasillos impares comienzan la ruta de “picking” cercana a las rampas y terminan al final del pasillo, mientras que los pares al contrario. Siguiendo estas rutas, se logró asignar los productos más pesados o con mayor estrellas en el área del pasillo donde WMS comienza a realizar “picking”. Esto permite que el primer producto que un operario recoja sea de una base más sólida. La Figura 9 indica el funcionamiento de estos criterios al asignar los pedidos. para entender el funcionamiento.

Figura 8: Vías en los pasillos de la bodega según WMS



## RAMPAS

Figura 9: Criterios para medir la base de un producto

Medición	Descripción
0	El material es débil y no contribuye a crear una base firme en la tarima. El producto puede dañarse si recibe mucha carga.
 1	El material no es el adecuado para que sea parte de una base firme.
 2	El material contribuye a que la base de una tarima sea adecuada.
 3	El material contiene las características físicas óptimas para tener la mejor base en una tarima. Su peso y volumen contribuyen a que la base sea muy firme.

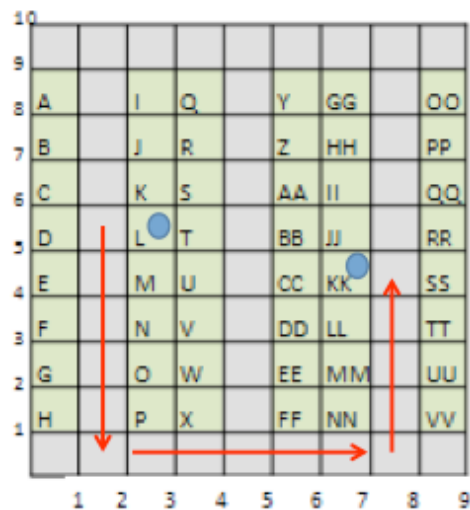
## C. Revisar

**1. Creación de unidad de medida.** Ya teniendo un diseño de almacenamiento óptimo, se evaluaron las alternativas de cada fase. El primer paso en esta etapa fue crear una métrica que permitiera identificar el diseño de almacenamiento más eficiente.

Lo primero que se hizo fue asignarle a cada ubicación del área de “picking” una coordenada en “x” y en “y”. La Figura 5 muestra un ejemplo de cómo se logró asignarle las coordenadas a las ubicaciones. Las coordenadas permitían encontrar las distancias totales que un trabajador realizaba al completar un pedido.

La Figura 10 muestra un ejemplo de un pedido que comenzó en la ubicación L y terminó en KK. Aquí se puede ver que el operario recorrió un total de 14 unidades recorridas. Es así como se calcula dicha métrica y su medida fue utilizada para escoger al diseño de almacenamiento con menor magnitud. Las unidades obtenidas por las coordenadas representan una cantidad en metros en el almacén físico.

**Figura 10: Coordenadas del almacén**



**2. Simulación de Montecarlo.** Después de haber creado modelos basados en la lógica y el modelo de almacenamiento óptimo, se necesitó comprobar previo a implementar el diseño, cuál de todos era el más eficiente. Por medio de una simulación de Montecarlo se logró seleccionar el diseño de almacenamiento de pedidos al detalle con mayor probabilidad de recorrer menos distancia. En esta etapa del proyecto, se simuló 15,000 pedidos con tres productos cada uno.

El planteamiento de la simulación fue la siguiente:

Objetivo:

Conocer la distancia recorrida para cada diseño.

Métrica utilizada para medir resultado

Distancia recorrida por medio de las coordenadas

### Variables de entrada

- Producto 1
- Producto 2
- Producto 3

Estos productos eran simulados a base de una distribución discreta de acuerdo a la probabilidad de aparecer en un orden de trabajo. Las tres variables de entrada pertenecían a la misma distribución de probabilidad discreta.

### Variables de salida

- Distancia recorrida

Conociendo la ubicación y coordenadas de cada producto simulado en las variables de entrada, se logró calcular la cantidad de unidades recorridas. La suma de la distancia de todo el pedido fue el resultado de esta variable de salida.

- Métrica mismo pasillo

Esta métrica fue una variable de salida que contribuyó a conocer la cantidad productos que aparecieron en el mismo pasillo. La Figura 11 muestra la forma en que se midió esta variable de salida.

**Figura 11 Medición de la variable de salida "métrica mismo pasillo"**

Medida	Descripción
0	Se colocó cero, si ningún producto del mismo pedido apareció en conjunto con otro en el mismo pasillo.
2	Dos productos de la mismo pedido aparecieron en el mismo pasillo.
3	Tres productos del mismo pedido aparecieron en el mismo pasillo.

### a. Resultados de simulación

Tabla 4: Resultados de simulación de la variable de salida distancia

	Distancia				Diseño actual
	Diseño rotación pasillos completos	Diseño rotación pasillos mitad	Diseño modelo óptimo pasillos mitad	Diseño modelo óptimo pasillos completos	
Mínimo	7	7	14	14	17
Máximo	201	182	149	148	187
Media	75.5	75.9	70.1	70.2	94.3
Desviación estándar	27.28	27.4	20.0	20.2	22.7
Varianza	744	752.6	401.15	406.1	515.3
Moda	83	84	63	63	97
Porcentaje de ahorro con respecto a media	20%	20%	26%	26%	0%
Porcentaje de ahorro con respecto a moda	14%	13%	35%	35%	0%

Tabla 5: Resultados de simulación de la variable de salida métrica mismo pasillo

	Métrica mismo pasillo				Diseño actual
	Diseño rotación pasillos completos	Diseño rotación pasillos mitad	Diseño modelo óptimo pasillos mitad	Diseño modelo óptimo pasillos completos	
Mínimo	0	0	0	0	0
Máximo	3	3	3	3	3
Media	1.3	1	1.2	1.3	0.824
Desviación estándar	1.07	1.08	1.07	1.06	22.7
Varianza	1.16	1.17	1.15	1.13	515.3
Moda	2	0	2	2	0
Incremento de encontrar más productos en el mismo pasillo	58%	21%	46%	58%	0%

Estos resultados de simulación encuentran el promedio de productos que se localizan juntos en el mismo pasillo. Con la ayuda de estos resultados se puede observar que tanta similitud hay entre los productos de cada pasillo, de tal forma que en varias órdenes los productos se encuentren en el mismo lugar.

#### 1) Diseño de rotación con pasillos completos

Ventajas:

- Es fácil de implementar ya que su distribución es ordenada. El cambio de ubicación actual con este diseño no es complicado porque solo se considera el factor de mayor rotación.
- El cambio de ubicación de los productos a la hora que cambie de categoría es fácil de actualizar.

#### Desventajas:

- El tráfico en las entradas de los pasillos será demasiado alto, puesto que el reabastecimiento de los productos con mayor rotación causarán la obstrucción de los pasillos por el alto flujo de montacargas.
- Los productos de categoría C están muy aislados de los productos A y B.
- El diseño se basa en los productos con mayor rotación, cuando en realidad debiera basarse en la frecuencia de "picking".
- El diseño se basa en la lógica y no en algoritmos óptimos. Lo lógico no necesariamente es lo óptimo.

#### Análisis:

Se puede notar que la media de dicha propuesta es menor que la actual. Esto indica que este diseño generará ahorros aproximados de 23% en distancia recorrida. Aunque dichos ahorros se obtuvieron de la media, en muestras muy grandes también se debe considerar la moda y es por esto que se logró determinar un ahorro de 14% con respecto a la distancia de mayor frecuencia. Otro factor importante que se consideró en este diseño es la alta variabilidad de distancias que recorrió el operario. La métrica del mismo pasillo es uno de los más altos y esto indica que la probabilidad que los productos de una misma orden se encuentren en el mismo pasillo, es mayor que el actual. Aunque el indicador de varios productos en el mismo pasillo es alto, es necesario entender que esto se debe a que los pasillos completos poseen mayor cantidad de productos en los mismos con respecto a los que se utilizan a la mitad.

## **2) Diseño de rotación pasillos a la mitad**

#### Ventajas:

- Es fácil de implementar ya que su distribución es ordenada. El cambio de ubicación actual con este diseño no es complicado porque solo se considera el factor de mayor rotación.
- El cambio de ubicación de los productos a la hora de que cambie de categoría es fácil de actualizar.

#### Desventajas:

- El tráfico en las entradas de los pasillos será demasiado alto, puesto que el reabastecimiento de los productos con mayor rotación causarán la obstrucción de los pasillos por el alto flujo de montacargas.
- Los productos de categoría C están muy aislados de los productos A y B.
- El diseño se basa en los productos con mayor rotación, cuando en realidad debiera basarse en la frecuencia de "picking".
- El diseño se basa en la lógica y no en algoritmos óptimos. Lo lógico no necesariamente es lo óptimo.

#### Análisis:

Con una media de 75.9 unidades de distancia por orden, se puede notar que es 20% más eficiente que el diseño actual. Sin duda alguna el modelo propuesto de pasillos completos que se discutió anteriormente es más eficiente y como se puede observar en la tabla 1, este método es el menos conveniente después del actual. Esta propuesta posee la variabilidad más alta, incluso sobrepasando el actual, al igual que los menores ahorros generados con respecto a la media y la moda. Se logró observar que el valor de cantidad de productos juntos en los mismos pasillos es realmente bajo. Esto indica que la probabilidad que los productos de una misma orden se encuentren en el mismo pasillo, es baja. Aunque el indicador de varios productos en el mismo pasillo es mayor que el actual, es necesario concluir que no es el método con el mejor indicador. En conclusión este diseño propuesto es el menos eficiente de todos los que se plantearon y es por esto que no se consideró para la implementación.

### **3) Diseño óptimo medio pasillo**

#### Ventajas:

- La agrupación de productos en cada pasillo tienen una similitud alta y generalmente se piden en la misma orden.
- La propuesta agrupa de una manera diluida los productos A y B de tal forma que el tráfico no se concentre en la primera ubicación de cada pasillo.
- Los productos C también son agrupados por medio de un análisis de conglomerados, por lo que hace que más del 20% de los productos esté agrupado según similitudes.

#### Desventajas:

- El tráfico de operarios puede ser alto en los pasillos.
- Se debe hacer un análisis de conglomerados cada 6 meses para actualizar las ubicaciones de los productos según la demanda.

#### Análisis

Con una media de 70 unidades de distancia por pedido, se pudo observar que dicha propuesta superó en eficiencia a los demás diseños propuestos. Dicho método de ordenamiento

obtuvo un ahorro del 26% con respecto a la media y 35% con respecto a la moda. Definitivamente es el método con mejores resultados, puesto que a pesar de sus ahorros es el que posee la menor variabilidad de distancias recorridas. El indicador de productos en el mismo pasillo es uno de los más altos y sin duda alguna indica que la probabilidad que al menos dos productos se encuentren en el mismo pasillo es elevada. Se puede observar como los “clusters” contribuyeron a que se minimizara la distancia en comparación con los otros métodos que no se utilizaron. Sin duda alguna, este método tiene los mejores resultados de todos los propuestos y es por esto que se seleccionó para implementarlo.

#### **4) Diseño óptimo pasillo completo**

##### Ventajas:

- La agrupación de productos en cada pasillo tienen una similitud alta y generalmente se piden en la misma orden.
- La propuesta agrupa de una manera diluida los productos A y B de tal forma que el tráfico no se concentre en la primera ubicación de cada pasillo.
- Los productos C también son agrupados por medio de "clustering", por lo que hace que más del 20% de los productos esté agrupado según similitudes.

##### Desventajas:

- El tráfico de piqueros puede ser alto en los pasillos.
- Se debe hacer un análisis de "clustering" cada 6 meses para actualizar las ubicaciones de los productos según la demanda.
- Hay que habilitar las ubicaciones en la parte final del pasillo para el área de “picking”.

##### Análisis

Con una media de 70.2 unidades de distancia por pedido, se pudo observar que dicha propuesta se asemeja en eficiencia al diseño óptimo de pasillos medios. Dicho método de ordenamiento obtuvo un ahorro del 26% con respecto a la media y 35% con respecto a la moda. Dicho diseño posee una variabilidad baja y realmente hace que dicha propuesta también sea una de los mejores diseños propuestos. El indicador de productos en el mismo pasillo es uno de los más altos y sin duda alguna indica que la probabilidad que al menos dos productos se encuentren en el mismo pasillo es elevada. Aunque el indicador de varios productos en el mismo pasillo es alto, es necesario entender que esto se debe a que los pasillos completos son sumamente largos y se utilizan menos que en el actual por el hecho de que son pasillos utilizados a la mitad. Se puede observar cómo los “clusters” contribuyeron a que se minimizara la distancia en comparación con los otros métodos que no se utilizaron. Sin duda alguna, este método tiene los resultados muy favorables, sin embargo no se eligió para la implementación por el hecho que involucraba más tiempo cambiar todas las ubicaciones a este diseño que el diseño de pasillos a la mitad.

## b. Determinación de método de conglomerado más eficiente

**Tabla 6: Resultados entre métodos de conglomerados**

	Distancia		
	Diseño pasillo mitad con conglomerado k-medias	Diseño pasillo mitad con conglomerado jerárquico aglomerativo	Diseño actual
Mínimo	16	14	17
Máximo	170	148	187
Media	82.134	70.2	94.3
Desviación estándar	23.634	20.2	22.7
Varianza	558.5	406.1	515.3
Moda	74	63	97
Porcentaje de ahorro con respecto a media	13%	26%	0%
Porcentaje de ahorro con respecto a moda	24%	35%	0%

Esta simulación permitió conocer que el método de conglomerados que genera mayor ahorros es el jerárquico aglomerativo. A pesar que los ahorros de la k-media representan la mitad del jerárquico, la variabilidad es mayor que el diseño actual. Estos resultados permitieron elegir el diseño de la implementación del método de conglomerados jerárquicos.

## C. Actuar

Sabiendo que el diseño elegido para el almacenamiento del área de pedidos al detalles es el modelo de almacenamiento basado en “clusters”, fue necesario crear un plan de acción para que su implementación fuera lo más efectivo posible. El nuevo re diseño del almacenamiento del área de “picking” se implementó en 2 semanas realizando de 30 a 42 movimientos diarios de 8:00 a.m. a 8:40 a.m. Los movimientos de las ubicaciones se realizaron por medio de los pases de transferencia mostrados en la Figura 12. Estos pases eran entregados a los montacarguistas para que efectuaron los movimientos mostrados en el mismo. Las ubicaciones destino eran

aquellas que en ese momento se encontraban vacías. Al momento de movilizar un producto, las ubicaciones origen quedaban vacías y se convertían en destino. De esta forma se fueron realizando estos movimientos hasta tener todas las ubicaciones con el producto deseado.

**Figura 12: Pases de transferencia**

Nombre:		Hora terminada:	
Fecha de traslado:			
Hora de comienzo:			
Origen	Producto pasajero	Destino	Completado
08-205-01	PRODUCTO A MOVER	02-251-01	
07-219-01		02-249-01	
06-260-01		02-247-01	
06-243-01		02-245-01	
06-237-01		02-243-01	
11-237-01		02-241-01	

En esta etapa se desarrolló un programa que calculara las distancias por orden de trabajo para medir los resultados de este nuevo diseño de almacenamiento. Este programa llamado medidor de distancia fue utilizado para comparar las distancias del antes y después de la implementación. El listado de órdenes de trabajo con sus respectivas ubicaciones visitadas fueron obtenidas por medio de WMS.

## D. Ajustar

El diseño del almacenamiento del área de “picking” puede sufrir algunos cambios durante los meses. Es por esto que surgió la necesidad de crear una guía para modificar el “layout” que permita orientar al administrador de la bodega ubicar un producto nuevo o promocional.

**1. Guía para modificar el “layout”.** El constante flujo de productos nuevos, promocionales y transiciones provocan la necesidad de modificar el diseño de ubicaciones de “picking” en un centro de distribución. El “layout” o mapa de productos en ubicaciones, se modificara de acuerdo a los siguientes criterios:

1. Modificación común:
  - a. Es aquella en dónde los cambios son por productos de transición, productos nuevos, promocionales o algunos ajustes que contribuyen a mejorar el “layout” presente.

2. Actualización completa:

- a. Es el re-ordenamiento del diseño completo en donde se realizan modelos matemáticos para actualizar los productos que deben agruparse en el mismo pasillo.

Tres parámetros fundamentales que se consideraron en este “layout”:

1. “Clusters”: La agrupación de productos con alta probabilidad de aparecer juntos en la misma orden.
2. Frecuencia: La cantidad de veces que un producto es visitado en la ubicación de “picking”.
3. Base del producto: Indica que tan adecuada es la base de ese producto para minimizar el desbalanceo de los productos estibados.

¿Cómo hacer modificaciones en el “layout” de “picking”?

Para realizar cualquier modificación común es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros listados en orden ascendente de prioridad:

1. Darle la prioridad a todos los códigos con “clusters”, ya que son grupos de productos con una alta probabilidad de aparecer en la misma orden de “picking”. Este es el primer parámetro y es importante que dichos códigos permanezcan en el mismo pasillo. Esto significa que ninguno de los códigos “clusters” pueden separarse de cada pasillo, sin embargo si se pueden reubicar siempre y cuando permanezcan en el mismo.
2. La frecuencia con que un producto es visitado en el área de “picking”, contribuye a la asignación de la ubicación. Mientras más visitado se encuentre un producto, el pasillo elegido para ubicarlo debe estar lo más cercano a los muelles de carga.
3. Asignar los productos más pesados o con mayor estrellas en el área del pasillo dónde WMS comienza a realizar “picking”.

Es importante mencionar que los empleados deben estar involucrados durante y después de la implementación. Se recomienda crear un boletín en la entrada de la bodega que permita colocar a los operarios productos nuevos que comienzan a aparecer en la misma tarea de picking, para que posteriormente se analice y se haga el cambio de ubicaciones. Aparte de esta iniciativa, es necesario crear reuniones mensuales con los operarios para continuar con mejoras en las ubicaciones de los productos de pedidos al detalle.

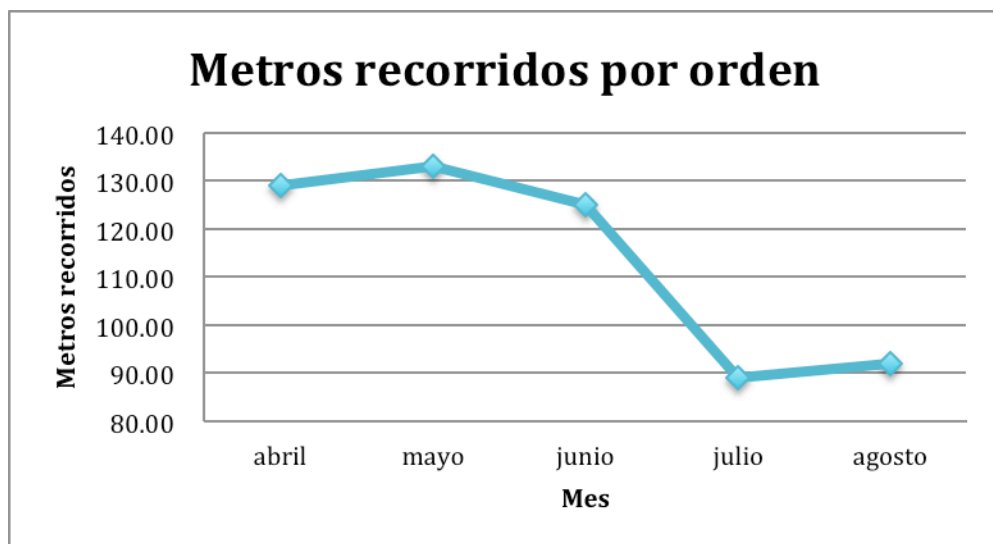
## VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### A. Resultados de distancia recorrida por los operarios

Después de dos meses de implementación del proyecto, se logró obtener los resultados reales en el centro de distribución de productos para la higiene personal localizado en la ciudad de Guatemala. La Gráfica 3 muestra el promedio de distancia que un operario recorrió para completar un pedido al detalle. Se puede observar que a partir del mes de junio, la distancia recorrida disminuyó más del 30%. Esto indica que ubicando los productos de acuerdo a su alta similitud de aparecer juntos en una misma orden contribuye significativamente a que el operario visite una menor cantidad de pasillos.

Desde el momento que acabó la implementación, los operarios que trabajan en el centro de distribución percibieron el cambio, ya que notaron una disminución de distancia al completar pedidos. A través de los meses, se logró observar que efectivamente los operarios caminan menos al completar pedidos, ya que con la ayuda de la herramienta Medidor de Distancia se pudo medir los resultados. El Medidor de distancias es un programa creado para determinar la distancia recorrida por los operarios al completar una tarea de picking por medio de la suma y resta de coordenadas de las ubicaciones visitadas en cada orden. La Tabla 7 muestra una aproximación de la cantidad de kilómetros ahorrados al mes en total.

**Gráfica 3: Resultados de distancia recorrida al mes**



**Tabla 7: Resumen de ahorros aproximados por mes de km**

	Elemento	Cantidad	Unidad
PREVIO AL PROYECTO	Cantidad de órdenes de picking al mes	3500	órdenes
	Cantidad aproximada de metros recorridos por orden	129	metros
DESPUÉS DEL PROYECTO	Porcentaje ahorrado	30%	
	Cantidad de km ahorrados	135	km

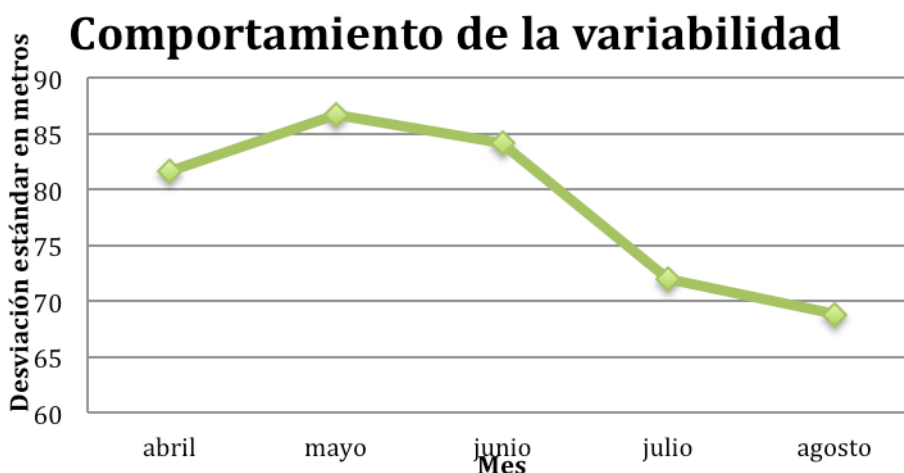
**Tabla 8: Resultados pronosticados vs. reales**

	Pronosticado	Real	% de error
Distancia recorrida / pedido (metros)	97	91	6.19%

La Tabla 8 muestra la desviación de lo pronosticado por la simulación versus los resultados obtenidos al momento que se implementó. Se pudo observar que el pronóstico fue subestimado, ya que WMS toma los pedidos al detalle y crea los pedidos de tal forma que el volumen de los productos en esa orden no sobrepase el máximo requerido, al igual que toma en consideración el criterio de ruta más corta. Esta mejora hace que los resultados hayan sido mejores de los estimados.

Otro factor importante medido fue la variabilidad de distancia recorrida por los trabajadores y se pudo notar que disminuyó en más de 16%. Esto indica que la distancia recorrida por orden de trabajo es más constante y que el trabajador no necesita visitar pasillos muy lejanos con frecuencia.

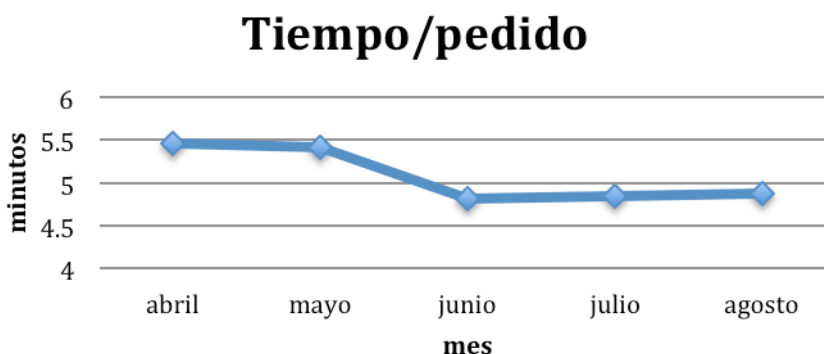
Gráfica 4: Comportamiento de la variabilidad de distancia



## B. Resultados de tiempo

A pesar que la distancia disminuyó aproximadamente un 30%, también se generó ahorros en el tiempo. La Gráfica 5 muestra como a partir del mes de junio, el tiempo en completar un pedido de productos al detalle comenzó a disminuir. Se logró medir un ahorro de 11% en el promedio de tiempo en completar un pedido de “picking”. La gráfica muestra claramente la disminución de tiempo para completar un pedido a partir que se implementó el proyecto. Un ahorro de 11% en tiempo representa aproximadamente más de dos días disponibles para realizar otras actividades dentro del centro de distribución.

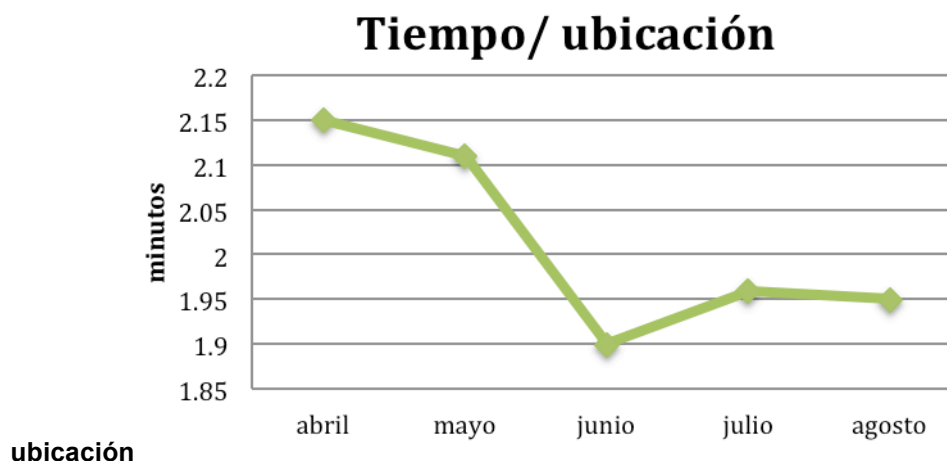
Gráfica 5: Tiempo en completar un pedido



La Gráfica 6 muestra la cantidad de tiempo que disminuyó en visitar una ubicación y cargar el producto en la tarima. Está métrica permite ver si el tiempo en visitar las distintas ubicaciones

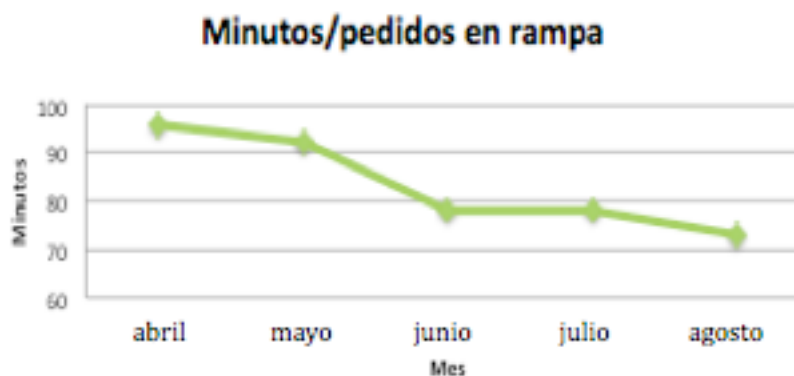
han disminuido y determinar si los productos de un pedido se encuentran más cercanos. Con un ahorro de 9%, se puede comprobar que efectivamente el tiempo ha disminuido.

**Gráfica 6: Tiempo en completar un pedido por**



Los pedidos al detalle se completan en las rampas correspondientes del centro de distribución por medio de 5 operarios. Los pedidos no siempre corresponden al mismo cliente, ya que WMS crea y asigna los pedidos a los trabajadores a base de prioridades. En otras palabras, el total de los pedidos en rampas es completado de acuerdo a su hora de recepción del cliente final. Los pedidos en rampa se completa por medio de tareas de “picking” y de montacargas. La implementación de este proyecto logró hacer que los pedidos completos en rampas se haya disminuido por más del 17%. Esto indica que el centro de distribución puede cargar los camiones 17% más rápido que previo a la implementación de dicho diseño. La tabla 9 indica aproximadamente la cantidad de camiones más que se pueden cargar en un tiempo determinado. Se logró determinar que alrededor de 6 camiones de 48 metros cúbicos adicionales se pueden cargar utilizando la misma cantidad de recursos.

**Gráfica 7: Minutos en completar un pedido**



**Tabla 9: Cantidad de camiones listos para cargar en un tiempo estimado.**

	Elemento	Cantidad	Unidad
PREVIO AL PROYECTO	Cantidad de órdenes de picking al mes	3500	órdenes
	Cantidad aproximada de metros recorridos por orden	129	metros
DESPUÉS DEL PROYECTO	Porcentaje ahorrado	30%	órdenes
	Cantidad de km ahorrados	135	km

## C. Resultados económicos

**Tabla 10: Datos de salarios**

	Cantidad	Salario
Número de trabajadores de "picking"	5	GTQ2,400.00
Número de montacargistas	6	GTQ3,000.00
TOTAL	11	GTQ30,000.00

**Tabla 11: Datos para ahorros económicos**

	Cantidad
Días de operación	22
Horas disponibles al mes	198
Salarios totales por hora	GTQ151.52
Cantidad tiempo ahorrado	17%
Horas ahorradas al mes	33.34
Dinero ahorrado al mes	GTQ5,055.79

El tiempo en completar los pedidos enteros en rampa ha disminuido en un 17% por lo que representa un ahorro de 33 horas al mes. Este tiempo ahora se puede utilizar en completar más pedidos o cualquier otra actividad necesaria en el centro de distribución. Antes de la realización del proyecto, estas 33 horas estaban desperdiciadas por la mala asignación de productos en las ubicaciones del área de pedidos al detalle. Conociendo que el salario de los once operarios por

hora es Q151.22, se sabe que las 33 horas representan alrededor de Q5,055.79 que ahora se pueden aprovechar para la asignación de otras actividades del almacén. La realización de este proyecto generó altos beneficios con una inversión de Q3,914.00, eliminando varios desperdicios con poco tiempo de planificación e implementación.

**1. Análisis financiero.** Por medio de un análisis financiero se logró determinar la rentabilidad del proyecto. Lo primero que se realizó fue establecer los costos durante un año completo. Se logró identificar que este proyecto solo tiene un costo inicial cada vez que se implementa. Los costos iniciales se componen de fotocopias e impresiones, las horas del personal de la bodega que ayudaron hacer los movimientos, horas de supervisión del gerente general y la cantidad de horas que se tarda la persona que diseña el nuevo “layout”.

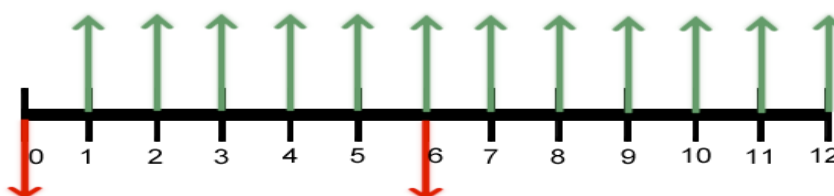
A través de un análisis de flujos de efectivo se lograron determinar la representación de los ahorros de un punto de vista financiero. Se logró determinar que los flujos negativos se dan solamente a la hora de implementarse y los positivos son los ahorros mensuales que se identificaron en la sección anterior. Es importante considerar que los flujos positivos se asumen constantes, ya que se tomó el promedio y es por esto que se hace esta suposición.

**Tabla 12: Estimación de costo implementación**

<b>Costo inicial</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Cantidad total</b>
Fotocopias	220	Q 0.25 / hoja	GTQ55
Horas de implementación	6	Q 151.52/hora	GTQ909
Supervisión	5	90/hora	GTQ450
Horas que tarda en armar el nuevo “layout”	50	Q 40/hora	GTQ2,500
<b>Total inversión</b>			<b>GTQ3,914</b>

Nota: Los costos mostrados en esta tabla son estimados, sin embargo si son representativos

**Figura 13 Diagrama de flujos de efectivo**



**Tabla 13: Flujos de efectivo por un mes**

Mes	Flujo
0	GTQ(3,914)
1	GTQ5,056
2	GTQ5,056
3	GTQ5,056
4	GTQ5,056
5	GTQ5,056
6	GTQ1,142
7	GTQ5,056
8	GTQ5,056
9	GTQ5,056
10	GTQ5,056
11	GTQ5,056
12	GTQ5,056
TIR	128%
Valor presente neto	GTQ48,728

\* La TMAR es de 15% y capitalizada mensualmente cada mes es de 1.17%.

\*Los flujos positivos son obtenidos por los ahorros del proyecto

A pesar que la empresa donde se realizó este proyecto no desarrolló un cheque con el monto del costo inicial, se le asignó un valor monetario para lograr comparar el esfuerzo versus el impacto que ocasionó. Se logró notar una TIR de 128% por lo que indica lo rentable y el alto beneficio que este proyecto genera al año. El valor presente neto fue de Q 48,728 y esto representa una cantidad de ahorro significativo en la operación de “picking”.

## VIII. CONCLUSIONES

1. La implementación del diseño de almacenamiento óptimo en la preparación de pedidos al detalle realizado en esta investigación, redujo 30% de la distancia promedio para completar una orden. Realizando un análisis de cesta de compra y análisis de conglomerados en el diseño de almacenamiento, se logró determinar que alrededor de 135 kilómetros al mes han disminuido al completar pedidos al detalle gracias a la implementación de este proyecto.
2. La métrica de la rotación para la realización de un “layout” del área de “picking” no es la más eficiente, ya que alrededor del 47% del tiempo para completar un pedido se debe a la distancia. Esto indica que la frecuencia es más adecuada, puesto que es más significativo calcular la cantidad de veces que se visita una ubicación que la cantidad de producto que se pide en el sitio.
3. La asignación adecuada de los productos del área de pedidos al detalle permite disminuir hasta un 11% de tiempo que el operario realiza para completar un pedido . Agrupando los productos de acuerdo a su similitud de aparecer juntos en la misma orden se logró cumplir el objetivo de lograr reducciones de tiempo mayores a 10% en la preparación de pedidos al detalle.
4. De acuerdo al plan de seguimiento elaborado, se logró determinar que este diseño de almacenamiento se debe actualizar cada seis meses para mantener los productos juntos con alta probabilidad de aparecer en la misma orden. Históricamente los productos A y B del diseño cambia el 30% en seis meses, por lo que es recomendable hacer los cambios dos veces al año para seguir con la mejora continua.
5. A pesar que WMS hace eficiente la ruta de pedidos al detalle al formar los pedidos de “picking” con la ruta más corta, la asignación de los productos de acuerdo a su alta probabilidad de aparecer juntos, puede hacer que el tiempo y distancia de un operario al completar órdenes sea menor.
6. Invirtiendo tres meses de tiempo y Q3,914 , este proyecto permitió encontrar recursos que estaban siendo desperdiciados, logrando ahorros de más de Q 5,000.00 mensuales y más de 17% de tiempo ahorrado en completar pedidos en rampa.

## IX.RECOMENDACIONES

1. Se recomienda evaluar el modelo de almacenamiento óptimo con distintos tipos de conglomerados para seguir perfeccionando el “layout”. El método de conglomerados juega un papel fundamental en el eficacia de la ruta de “picking”.
2. Asignar productos de alta frecuencia en más de una ubicación, puede contribuir a incrementar la productividad de la preparación de pedidos al detalle. Se recomienda ampliar este tema para que los códigos que generalmente se piden juntos puedan tener más de un “cluster” e incrementar la probabilidad que el operario encuentre todo lo que necesite en el mismo pasillo.
3. Es sumamente recomendable la creación de un software que cree el diseño de almacenamiento del área de “picking” basado en este modelo. Esto contribuirá a que el área de almacenamiento se actualice de forma rápida y que la capacitación para elaborar el “layout” sea más amigable.
4. Se recomienda elaborar un diseño de almacenamiento que busque la optimización de la ruta de “picking” incluyendo las dimensiones, forma, peso y volumen de cada producto almacenado. Esto contribuirá a que el operario pueda encontrar el orden óptimo para estibar los productos, reduciendo la distancia y tiempo para completar la tarea.

## X. BIBLIOGRAFÍA

1. Winston, Wayne. 2004. *Investigación de operaciones*. 4ª ed. México, Cengage Learning. 1418 págs.

### Referencias obtenidas en Internet:

1. Accpac, John. 2003. *Warehouse Management System*. Paragon Consulting Group. [web en línea] en:  
<<http://www.pcginc.com/docs/WarehouseManagementSystem.pdf>> [con acceso el 21 de octubre del 2012]
2. Anónimo. Fecha no disponible. *Distance metrics overview*. Improved Outcomes Software [web en línea] en:  
<[http://www.improvedoutcomes.com/docs/WebSiteDocs/Clustering/Clustering\\_Parameters/Distance\\_Metrics\\_Overview.htm](http://www.improvedoutcomes.com/docs/WebSiteDocs/Clustering/Clustering_Parameters/Distance_Metrics_Overview.htm)> [con acceso el 9 de septiembre del 2012]
3. Anónimo. 2012. *How to determine sample size*. I Six Sigma. [web en línea] en:  
<<http://www.isixsigma.com/tools-templates/sampling-data/how-determine-sample-size-determining-sample-size/>> [con acceso el 9 de septiembre del 2012]
4. Anónimo. 1 de noviembre del 2008. *SAP WMS*. Prospecta Softwares. [web en línea] en:  
<[http://www.prospectasoftware.com/Resources/sap\\_wm.pdf](http://www.prospectasoftware.com/Resources/sap_wm.pdf)> [con acceso el 21 de octubre del 2012]
5. Binidi, Fabio, *et al.* Fecha desconocida. *Similarity coefficient and clustering techniques for the correlated assignment problem in warehousing systems*. Universidad de Bologna. [web en línea] en:  
< <http://www.icpr19.cl/mswl/Papers/003.pdf> > [con acceso el 21 de marzo del 2012]
6. Dukic, Gill y Opetuk, T. Fecha no disponible. *Analysis of order "picking" in warehouses with fishbone layout*. Universidad de Vaasa. [web en línea] en:  
<<http://www.lipas.uwasa.fi/~phelo/ICIL2008TelAviv/19.pdf>> [con acceso el 11 de julio del 2012]
7. Ford, Anne. Fecha no disponible. *Which products sell well together, building an effective product recommender model* from Robotics Stanford. [web en línea] en:  
<[http://robotics.stanford.edu/~ronnyk/mec\\_study.pdf](http://robotics.stanford.edu/~ronnyk/mec_study.pdf)> [con acceso el 19 de octubre del 2012]

8. Jamarillo, Jorge. 1 de junio del 2009. *Simulación*. Universidad Nacional de Colombia. [web en línea] en:  
<[http://pisis.unalmed.edu.co/cursos/material/3004604/1/13\\_simulacio%20de%20Montecarlo.pdf](http://pisis.unalmed.edu.co/cursos/material/3004604/1/13_simulacio%20de%20Montecarlo.pdf)> [con acceso el 6 de septiembre del 2012]
9. Ming, Chris. 2004. *Optimal storage layout and order picking for warehousing*. International Journal of Operations Research. [web en línea] en:  
[http://www.orstw.org.tw/ijor/vol1no1/\(5\)\\_Optimal%20Storage%20layout%20And%20Order%20picking%20For%20Warehousing.pdf](http://www.orstw.org.tw/ijor/vol1no1/(5)_Optimal%20Storage%20layout%20And%20Order%20picking%20For%20Warehousing.pdf) [con acceso el 7 de mayo del 2012]
10. Mittal, Sandeep. 04 de agosto de 2008. *Market basket analysis*. Cartesian Consulting. [web en línea] en:  
<[http://www.cartesianconsulting.com/insights/index2.php?option=com\\_content&do\\_pdf=1&id=122](http://www.cartesianconsulting.com/insights/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=122)> [con acceso el 4 de agosto del 2012]
11. Mooi, Ernest y Andrew, S. 2011. *Cluster analysis*. [web en línea] en:  
<<http://www.springer.com/cda/content/.../9783642125409-c1.pdf?...0-0...>> [con acceso el 12 de septiembre del 2012]
12. Naick, Vaibhav. 01 de junio de 2004. *Fuzzy C-means clustering approach to design a warehouse layout*. University of South Florida [web en línea] en:  
<<http://scholarcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2174&context=etd&seiredir=1&referer=http%3A%2F%2Fwww.google.com%2Furl%3Fsa%3Dt%26rct%3Dj%26q%3Dfuzzy%2520clustering%2520for%2520picking%2520warehouse%26source%3Dweb%26cd%3D1%26ved%3D0CB4QFjAA%26url%3Dhttp%253A%252F%252Fscholarcommons.usf.edu%252Fcgi%252Fviewcontent.cgi%253Farticle%253D2174%2526context%253Detd%26ei%3DRRCRVUMi5O4269gTug4DICg%26usg%3DAFQjCNG8jInzRwccnhXQvJRjQU77YbZkQ#search=%22fuzzy%20clustering%20picking%20warehouse%22>> [con acceso el 11 de septiembre del 2012]
13. Rodríguez, Luis. marzo del 2011. *Simulación, método de Montecarlo*. Universidad de Castilla la Mancha. [web en línea] en:  
[http://www.uclm.es/profesorado/licesio/Docencia/mcoi/Tema4\\_guion.pdf](http://www.uclm.es/profesorado/licesio/Docencia/mcoi/Tema4_guion.pdf) [con acceso el 11 de septiembre del 2012]
14. Soto, Jaime. 2005. *Simulación método Monte Carlo*. [web en línea] en:  
<http://jaimesotou.files.wordpress.com/2011/05/metodo-montecarlo-03.pdf> [con acceso el 28 de agosto del 2012]

15. Vicente, José. Fecha no disponible. *Introducción al análisis del cluster*. Universidad de Salamanca. [web en línea] en:  
<http://biplot.usal.es/ALUMNOS/CIENCIAS/2ESTADISTICA/MULTIVAR/cluster.pdf>  
f> [con acceso el 9 de enero del 2012]

## **XI. APÉNDICES**

## APÉNDICE 1: ESTUDIO DE TIEMPO

ESTUDIO DE TIEMPOS					PREPARACIÓN PEDIDOS AL DETALLE				
Nota los tiempos están en segundos									
Observaciones	Tiempo en viajar		Encontrar tarima		Tiempo para escanear		Tiempo para cargar		Tiempo total
	Exacto	Porcentaje	Exacto	Porcentaje	Exacto	Porcentaje	Exacto	Porcentaje	Exacto
1	119	60%	3	2%	13	7%	65	33%	200
2	133	45%	15	5%	12	4%	138	46%	298
3	99	43%	27	12%	2	1%	104	45%	232
4	96	37%	6	2%	10	4%	146	57%	258
5	130	56%	22	10%	8	3%	71	31%	231
6	88	63%	11	8%	1	1%	40	29%	140
7	153	76%	4	2%	8	4%	37	18%	202
8	159	60%	6	2%	7	3%	94	35%	266
9	137	35%	6	2%	7	2%	243	62%	393
10	208	67%	15	5%	14	5%	74	24%	311
11	139	36%	15	4%	18	5%	218	56%	390
12	162	40%	15	4%	33	8%	200	49%	410
13	82	29%	6	2%	11	4%	188	66%	287
14	222	71%	12	4%	18	6%	61	19%	313
15	127	53%	50	21%	6	2%	58	24%	241
16	128	34%	15	4%	14	4%	220	58%	377
17	29	11%	50	18%	18	7%	178	65%	275
18	80	27%	20	7%	52	18%	140	48%	292
19	61	54%	20	18%	18	16%	13	12%	112
20	122	57%	50	23%	24	11%	18	8%	214
21	122	48%	19	7%	64	25%	51	20%	256
22	108	49%	30	14%	8	4%	74	34%	220
23	68	23%	51	17%	11	4%	165	56%	295
24	181	35%	8	2%	84	16%	240	47%	513
25	116	59%	36	18%	13	7%	31	16%	196
Tiempo total	3069		512		474		2867		6922
# Observaciones	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Tiempo promedio	123	47%	20	8%	19	7%	115	38%	277

## **APÉNDICE 2: PLANIFICACIÓN PREVIO A LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO**

Durante todo el proyecto se utilizará el método de mejora continua del círculo de Deming, con el fin de lograr resultados verídicos. Toda fase del proyecto será sustentada por medio de los pasos: planear, hacer, revisar e implementar. Se le hará mucho énfasis en involucrar al personal de picking, puesto que esto ayudará a que exista menos resistencia al cambio del “layout”. Para la realización exitosa del proyecto es necesario completar las siguientes fases:

### **Identificación del problema**

Consiste en conocer más a fondo el proceso de picking. Se debe entrevistar a piqueros e ir obteniendo ideas para tomar consideraciones importantes en el diseño del “layout”. Todos los días se acompañará un piquero para hacer distintas rutas y conocer la experiencia de picking. El objetivo principal de esta fase es obtener información de factores importantes y necesarios para incluir en el diseño. Toda observación se documentará para obtener la causa raíz del problema. Esta se obtendrá por medio de un diagrama de Ishikawa y el análisis de los “5 por qué”.

### **Metas a cumplir:**

- Documentar ocho factores importantes obtenidos en la experiencia de picking.
- Entender a fondo los procesos involucrados en el área de picking.
- Convocar una reunión de introducción del proyecto con los operarios de picking.
- Conocer a fondo el problema del punto de vista analítica y de los piqueros.
- Determinar las causas principales del problema.
- Identificar la causa raíz del problema.
- Hacer un estudio de tiempos

### **Recopilación de datos**

Después de haber obtenido información y conocido la experiencia de picking, es necesario investigar a fondo el problema y comenzar a ver posibles soluciones. Para aplicar la práctica es necesario entender la teoría y es por esto que se buscará investigaciones hechas por científicos a cerca de la eficiencia en bodegas. Sabiendo las causas principales del problema encontradas en la fase anterior, se puede comenzar a generar propuestas e ideas que puedan determinar la

solución. La investigación debe hacerse involucrando al personal, puesto que ellos pueden contribuir de una manera significativa en la solución del “layout” de la bodega. Dentro de esta fase se investigará los algoritmos que solucionen el problema, al igual que se encontrará los softwares para la realización de la misma.

### **Metas a cumplir:**

- Investigar seis estudios por otras universidades con respecto a la optimización de bodegas
- Proponer cuatro algoritmos de solución
- Citar una reunión grupal con los operarios de picking para pedirles propuesta
- Entrevistar a cada operario de picking de forma individual
- Comenzar a realizar marco teórico

## **Planteamiento de soluciones**

Esta etapa consistirá en el planteamiento de modelos con posibles soluciones fundamentada en la teoría de la etapa anterior. Se le preguntará a algunos miembros del personal de picking las propuestas para que retroalimenten la solución. A base de las recomendaciones de los piqueros y cambios que vayan surgiendo, se irán modificando los “layout”s con el fin de llegar a la mejor solución. En esta semana se asegurará que los “layout”s no tengan suposiciones falsas ni factores irrelevantes que hagan del “layout” menos eficiente.

### **Metas a cumplir:**

- Tener 4 “layouts” propuestos para ser analizados
  - Esto incluye:
    - Ubicar cada producto en una ubicación específica
    - Una breve descripción de cada “layout”.
- Reunir a todos los piqueros para retroalimentar los “layout”s propuestos
- Reunir al gerente de distribución para buscar retroalimentación.
- Modificar cambios por recomendaciones de piqueros.

## **Evaluación de soluciones**

Por medio de una simulación de Monte Carlo, se logrará determinar el “layout” que minimice la distancia de picking en el centro de distribución de una empresa de productos higiénicos. Con la ayuda de Model Risk Software, se podrá hacer un análisis de los distintos “layout”s y de dicha forma determinar la mejor propuesta. Los resultados obtenidos serán analizados y se hará un reporte de simulación que muestre las razones que justifican la selección del mejor “layout”.

### **Metas a cumplir.**

- Simular cada “layout” en el programa Model Risk
- Determinar los resultados de cada propuesta
- Discutir los resultados en el reporte de análisis y resultados

## **Propuesta de aprobación**

El reporte de resultados de simulación, los algoritmos utilizados y la metodología usada debe ser presentada a la directiva del departamento de suministros. En esta etapa se hará una presentación resumida y se buscará la aprobación de la implementación del “layout” propuesto. El plan de implementación debe ser realizado y presentado para que la gerencia apruebe la metodología propuesta para cambiar el “layout”. Cualquier cambio que haga la gerencia se debe modificar para que se logre la implementación.

### **Metas a cumplir:**

- Desarrollar la presentación del proyecto para gerencia
- Modificar cambios por retroalimentación de gerencia.
- Obtener el permiso para la implementación

## **Implementación del “layout” elegido**

Toda la operación debe suspenderse para poder modificar las ubicaciones en el sistema y físicamente de todos los productos existentes. Es importante mencionar que no se puede paralizar la operación por períodos más de 45 minutos al día. Es por esto que se debe crear un plan fácil de implementar y de entender que permita la menor cantidad de tiempo para cambiar la ubicaciones de cada producto. La implementación se hará ordenada y bien planeada para evitar anomalías en la operación de la distribución diaria. Se debe hacer un día de prueba para dominar la logística y evitar errores.

**Metas a cumplir:**

- Dominar en un 80% la asignación de tareas en WMS
- Terminar el reporte control de ubicaciones ya cambiadas
- Cambiar el 100% de ubicación para cada producto

**Modificaciones al nuevo “layout”**

Se realizarán cambios que sean necesarios para que el flujo de piqueros y montacarguistas sea adecuado. Factores como el tráfico de montacarguista, muchos piqueros en el mismo pasillo u otros se tomarán en cuenta para realizar los cambios. Se documentará el proceso para configurar el “layout” a base de cambios de rotación o de productos. Esto servirá para que el proyecto pueda tener un seguimiento y que pueda ser actualizado cuando sea necesario.

**Metas a cumplir:**

- Entregar la guía de seguimiento del “layout”
- Entrevistar a cuatro operarios de picking para obtener retroalimentación del proyecto implementado

**Resultados finales**

Después de un mes de haber implementado el proyecto se obtendrán los resultados obtenidos con el nuevo “layout” y se compararán con los del “layout” pasado. Se debe generar un reporte que analice los resultados y se documente la respuesta de los operarios en el área de picking. En esta etapa se empezará a hacer la presentación final para presentarla a directivos de suministros

**Metas a cumplir:**

- Completar reporte de análisis y resultados
- Finalizar conclusiones y recomendaciones
- Terminar la presentación final para gerencia

## **Presentación final**

Se hará una presentación a los directivos de suministros con los resultados finales del “layout”. En esta fase se realizará cualquier cambio proveniente de directiva y se recopilará todo lo documentado del proyecto para armar el trabajo de graduación. El cierre de este proyecto será documentado con el fin de poder aprender de errores en próximas investigaciones y dejar claro los logros establecidos.

### **Metas a cumplir:**

- Presentar a directivos
- Terminar trabajo de graduación

### Apéndice 3: Programa medidor de distancia

Número de orden de transporte	UBICACIÓN	CORDENADAS		DISTANCIA RECORRIDA
		X	Y	
1163414	823901	19	20	
1163414	826001	18	30	82
1163415	424501	31	23	50
1163417	722101	22	11	36
1163418	923101	16	16	
1163418	924801	15	24	76
1163419	1021301	13	7	46
1163940	423801	30	19	
1163940	424001	30	20	42
1163941	425301	31	27	
1163941	425301	31	27	
1163941	425701	31	29	
1163941	425701	31	29	62
1163942	425901	31	30	

Distance  
GEN

Clear