

# EVALUACIÓN DE LA COMBINACIÓN DE UN CONJUNTO DE TÉCNICAS DE ALMACENAMIENTO, RUTEO Y RECOGIDA DE PRODUCTO SOBRE EL INDICADOR DE DISTANCIA TOTAL RECORRIDA DE LOS RECOLECTORES EN UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO SIMULACIÓN COMO HERRAMIENTA DE ANÁLISIS

*Rubén Jácome Universidad de los Andes, Bogotá, Fidel Torres Universidad de los Andes, Bogotá.  
Recibido Febrero 17, 2009- Aceptado Abril 14, 2009  
<http://dx.doi.org/10.18566/puente.v3n1.a05>*

**Resumen**—Este trabajo evaluó el efecto sobre la distancia recorrida dentro de un centro de distribución, de las combinaciones de técnicas correspondientes a las políticas de almacenamiento, enrutamiento y recogida de los órdenes de pedidos. En cada política se plantearon 3 técnicas para producir un total de 27 combinaciones posibles. Se desarrolló un modelo de simulación programado en Visual Basic para Excel. Para la generación de órdenes se utilizó una base de datos proporcionada por una empresa real. Un factor adicional que se incluyó en el modelo es el número de órdenes por día. Un análisis estadístico revela la existencia de conjuntos de combinaciones que se desempeñan mejor.

**Palabras clave**— almacenamiento, bodega, ruta, entrega pedido.

**Abstract**— This study assessed the effect on the distance traveled within a distribution center, the combinations of techniques for the policies of storage, routing and collection of orders. In each policy were raised 3 techniques to produce a total of 27 possible combinations. It developed a simulation model programmed in Visual Basic for Excel. For the generation of orders we used a database provided by a real company. An additional factor was included in the model is the number of orders per day. A statistical analysis reveals the existence of sets of combinations that will play better.

**Keywords**— Stocks, warehouse, route, order picking.

Este trabajo es sometido como requisito para optar por el título de Magister en Ingeniería Industrial de la Universidad de los Andes Bogotá.

R. Jácome Ingeniero Industrial de la Universidad Industrial De Santander e-mail: [ruben.jacome@upbga.edu.co](mailto:ruben.jacome@upbga.edu.co)

## I. INTRODUCCIÓN

Existen políticas de almacenamiento, enrutamiento y recogida de órdenes que determinan la forma de operar un centro de distribución. La dificultad radica en el número de factores y en la cantidad de alternativas dentro de cada factor. Factores como el tamaño de la bodega, tipo de almacenamiento, ruteo, especificaciones del producto, ubicación de puertas, existencia de pasillos intermedios, número de órdenes por lote, altura de los estantes etc. La toma de decisiones en el manejo del centro de distribución depende de la selección de la mejor combinación de políticas y la mejor alternativa entre todas las combinaciones posibles entre factores. Estudios previos se han enfocado principalmente en hallar rutas óptimas, número de pasillos, límites inferiores, comparación de técnicas, impacto de los pasillos intermedios, distribución de bodega, etc.

Para el presente trabajo se seleccionaron técnicas de almacenamiento, enrutamiento, recogida y se observa el comportamiento al variar el factor de la cantidad de órdenes por día.

## II. MARCO TEÓRICO

Según Koster et al. [8] “Order-picking” es el proceso de recuperar productos de una bodega en respuesta a un requisito específico del cliente. Los objetivos son minimizar el promedio de la distancia recorrida, minimizar el tiempo de

recogida de una orden. Una orden de pedido es una lista de productos, con destino a un cliente, la cual especifica el nombre de cada artículo y la cantidad que el cliente solicita. Un lote es la agrupación de órdenes de acuerdo a una regla determinada.

### 2.1 Políticas De Almacenamiento

El almacenamiento en un centro de distribución consiste en decidir la cantidad de artículos que se van a guardar, en que sitio de la bodega se van guardar y cuanto tiempo permanece guardado dichos artículos.

El Almacenamiento por Popularidad consiste en clasificar los artículos en clases de acuerdo a su demanda. En el Almacenamiento Aleatorio los artículos son almacenados con igual probabilidad en cualquiera de los sitios que estén vacíos. Según Ballou [26] almacenamiento por índice COI es la proporción del volumen requerido en promedio por el producto para su almacenamiento contra el número promedio de pedidos diarios en los que se solicita el artículo.

### 2.2 Políticas de enrutamiento

Según Koster et al. [8] el objetivo de las políticas de enrutamiento es lograr una buena ruta en la bodega para recoger la secuencia de los artículos en la lista.

En el método de Ruteo Transversal (S-shape) el operario se dirige al pasillo más cercano que contenga por lo menos un artículo y lo atraviesa completamente. La Técnica de Ruteo Combinada Consiste en dividir el problema de ruteo en pequeños subproblemas de acuerdo al número de pasillos. Los pasillos con artículos para recoger pueden ser transitados completamente o el operario puede salir por el mismo sitio por donde ingreso al pasillo. Se usara el método de programación dinámica. Según Koster et al [8] el método Ruteo Punto Medio (Mid-point) divide la bodega en dos áreas. Las recogidas en la mitad del frente de la bodega son accedidas desde el pasillo cruzado del frente y las recogidas en la mitad posterior se realizan desde el pasillo cruzado posterior.

### 2.3 Políticas De Recogida

Según Koster et al [8] recogida involucra el proceso de agrupar y programar las órdenes del cliente, asignación de sitios a las líneas de la orden, recoger los artículos desde sitio de almacenamiento y disponer de los artículos recogidos.

Según Petersen [9] en Recogida en orden estricto, cada operario recoge sólo una orden a la vez. El operario viaja al primer sitio para recoger, después que el artículo ha sido recogido, el recogedor se moviliza al sitio del siguiente artículo en la lista. Según Petersen [9] en Recogida por lote, cada operario recoge más de una orden en su recorrido. El cumplimiento de cada orden se puede realizar mientras se efectúa la recogida o también se puede ordenar al terminar. Según Petersen [9] recogida por olas es un caso especial de recogida por lote por zona, donde el operario recoge lotes muy grandes basándose en la cantidad de tiempo. Cada operario recoge continuamente durante la ola parando solamente para descargar el carro cuando esté lleno. La siguiente ola no comienza hasta que este completa la primera ola.

## III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En la tabla 1 se detallan las técnicas de almacenamiento utilizadas por los autores.

Tabla 1. Técnicas de almacenamiento según el autor

[1]	Hsie et al: a. ABC b. ABC mercancía similar
[2]	Berg et al: a. Aleatorio, b. Por clase ABC. C. Dedicado, d. Continuo. Simulación.
[6]	Roodbergen et al: Aleatorio
[9]	Petersen: Por clase ABC
[11]	Petersen et al: a. Orden Estricto, b. Por clase ABC
[12]	Dekker et al: a. Tradicional, b. Combinada, c. Punto medio
[13]	Roodbergen et al Aleatorio, Utiliza distribución uniforme
[14]	Gademann et al: a. Aleatorio, b. Por clase ABC Ramificación y acotamiento. Recogida por olas. Factores: artículos por orden, número de órdenes,
[16]	Leduc et al :Aleatorio
[17]	Chef et al : a. Aleatorio, b. Por clase ABC Tratan de reducir los recursos utilizados
[21]	Gademann et al: Aleatorio, b. Por clase ABC
[24]	Lin et al : Aleatorio

En la tabla 2 se presentan las Técnicas de enrutamiento utilizadas en los documentos leídos.

**Tabla 2. Técnicas de enrutamiento según el autor**

[3]	Ratliff et al: caso especial, problema agente viajero. Algoritmo de programación dinámica.
[5]	Hall: a. Transversal, b. Punto medio, c. Brecha más larga. Simulación. brecha más larga muestra mejores resultados
[6]	Roodbergen et al :a. Pasillo por pasillo, b. Brecha más larga c. Optima, d. Transversal, e. Combinada, f. Combinada +
[9]	Petersen : a. Compuesta
[11]	Petersen et al: a. Transversal, b. Combinada, c. Optima
[12]	Dekker et al: a. Tradicional, b. Punto medio, c. Brecha mas larga, d. Transversal, e. Combinada, f. Optima
[13]	Roodbergen et al a. Transversal, b. Brecha más larga Modelo de programación lineal
[16]	Leduc et al : a. Transversal Minimizar distancia para recoger una orden

Los autores utilizaron diversas técnicas de recogida. La tabla 3 registra las políticas de recogida utilizadas en los documentos leídos.

**Tabla 3 Técnicas de recogida según el autor**

[1]	Hsie et al: a. Retorno b. Recogida Z
[6]	Roodbergen et al: a. Orden estricto
[9]	Petersen: a. orden estricto. b. por lote c. por zona, secuencial. d. por lote, por zona e. por olas Sesgo de demanda (bajo, medio y alto).
[11]	Petersen et al a. Orden estricto b. Por lote FCFS, c. Por lote
[14]	Gademann et al : Por olas
[16]	Leduc et al: a. Por lotes
[17]	Chew et al: a. Por lotes
[19]	Tang et al: a. Por lote Sistema de colas Ek/G/c.
[21]	Gademann et al: a. Por lote Tamaño de orden y número de órdenes.
[24]	Lin et al: a) Por orden (SOP) b. Por lote por zona (BZ). Simulación. utilizan Promodel.

La tabla 4 presenta Documentos que incluyen combinaciones de técnicas de almacenamiento, enrutamiento y recogida

**Tabla 4. Combinaciones de las políticas de almacenamiento, recogida y enrutamiento**

[1]	Hsie et al, Política Almacenamiento : a. SS1. Frecuencia acceso. b. SS2. Frecuencia acceso más similitud mercancía. Política Recogida: a. Retorno, b. Recogida Z
[11]	Petersen et al Política Almacenamiento: a. Orden Estricto, b. Por clase ABC, c. Dentro de pasillo. Política enrutamiento: a. Transversal, b. Combinada, c. Optima Política Recogida: a. Orden estricto, b. Por lote FCFS, c. Por lote
[12]	Dekker et al Política Almacenamiento : a. Tradicional, b. Combinada, c. Punto medio Política enrutamiento a. Tradicional, b. Punto medio, c. Brecha más larga d. Transversal, e. Combinada, f. Optima

En la tabla 5 se presentan los Factores adicionales planteados en los documentos leídos

**Tabla 5. Factores adicionales según el autor**

[1]	Hsie et al De 0 pasillo hasta 10 pasillos cruzado intermedio. [10%, 20%, 30%] {densidad de recogida en pasillo}. {combinación de ordenes}: a. orden por orden b. combinación de ordenes por similitud
[6]	Roodbergen et al: De 2 a 11 pasillos cruzado a. 7 b. 15 pasillo vertical a. 10 m b. 30 m [longitud de pasillo vertical] a. 10 b. 30 [artículo por ruta]
[9]	Petersen: 3000 b. 6000 c. 9000 [ordenes por jornada] a. alto b. medio c. bajo [sesgo de demanda]
[11]	Petersen et al: [ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40] artículos/orden
[13]	Roodbergen et al: a. 1 b. 10 c. 30 [artículo por ruta] a. [7 pasillos] b. [15 pasillos] a. 10 m b. 30 m [longitud de pasillo]
[16]	Leduc et al [desde 3 hasta 40] [orden por lote] a. 6 pasillos b. 10 pasillos c. 16 pasillos Toma en cuenta los resultados de Chew et al [17].
[17]	Chew et al: Varía el numero de órdenes por lote. Sistema de recogida en un sistema de colas.
[21]	Gademann et al: [4, 6, 10, 20] artículos por orden [3, 4, 5, 6, 8, 10] ordenes por lote [15, 16, 18, 20, 21, 24, 25, 30, 32] ordenes/ jornada [4, 5, 10, 20] pasillos verticales Número de sitios por cara de pasillo: {10, 20, 30, 40}

## IV. FORMULACIÓN DEL MODELO DE SIMULACION

Para validar las políticas se implementó un caso particular adaptado de una situación real.

### 4.1 Descripción de los Procesos implementados para la simulación

Los procesos se implementaron en visual basic en Excel. Ver figura 1. Cada replica de la simulación selecciona una orden de una manera aleatoria con una distribución uniforme con igual probabilidad. Dekker et al [12] utilizan una metodología similar.

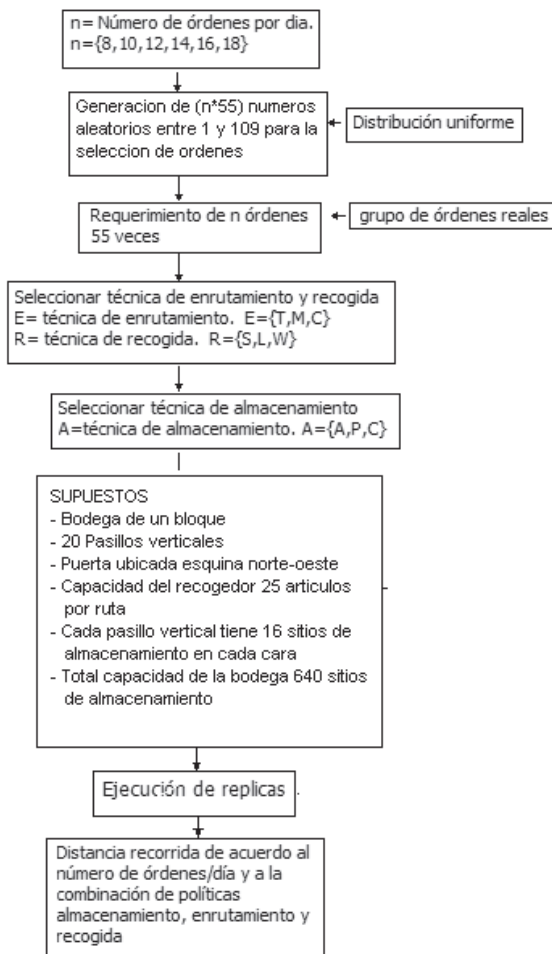


Figura 1. Diagrama de flujo del modelo de simulación

La bodega de productos está compuesta de un solo bloque con 20 pasillos en paralelo. Cada pasillo tiene 16 sitios de almacenamiento en cada lado. La bodega tiene una capacidad total de 640 sitios de almacenamiento.

#### 4.1.1 Proceso de almacenamiento.

Se identifica la cantidad diaria de cada artículo a almacenar. Para almacenamiento aleatorio se genera un aleatorio con distribución uniforme desde 1 hasta 640. Para almacenamiento por clase, se identifica el artículo con mayor prioridad y la cantidad a almacenar. Para almacenamiento por clase dada el COI, La medida de almacenamiento es la dimensión de la canastilla utilizada.

#### 4.1.2 Proceso de ruteo

En el ruteo transversal se identifican los pasillos que se deben visitar. La distancia está determinada por el último pasillo a visitar y el número de pasillos a visitar. En el ruteo punto medio es necesario trazar una línea divisoria de la bodega. Se identifica la ubicación de dichos artículos en la bodega y se elabora la ruta de acuerdo a los criterios planteados. En el ruteo algoritmo combinada, se implementó la técnica planteada por Roodbergen et al [6].

#### 4.1.3. Proceso de recogida

En la recogida en orden estricto un operario toma la primera orden de la lista y en el primer recorrido recoge los artículos más cercanos a la puerta. En el proceso de recogida por lote, las órdenes se agrupan de acuerdo al orden que se presentan. En el proceso de recogida por olas, según Gademman et al [14] las órdenes se agrupan por lotes y la bodega se divide en zonas. Se calcula la distancia recorrida por cada recogedor en cada zona. Se asume que el tiempo de ola debe ser menor a un límite determinado. Si no se cumple este limitante, se varía el orden de las órdenes en la conformación de los lotes.

## V. ANALISIS DE RESULTADOS Y DISEÑO DE EXPERIMENTO

### 5.1 Construcción del modelo

La simulación evalúa el comportamiento de 27 tratamientos compuesto de tres formas de almacenar, tres formas de ruteo y tres formas de recogida. Se evalúa el factor número de órdenes por día. La primera letra denota el tipo de almacenamiento A: aleatorio, P: popularidad, C: Coi. La segunda letra representa el tipo de ruteo T: transversal, M: punto medio, C: combinada. La tercera letra es el tipo de recogida S: en orden estricto, L: lote, W: por olas. El número de órdenes por día fueron 8, 10, 12, 14, 16 y 18 órdenes por día. El número de replicas es de 55 replicas en cada corrida. Una muestra de pedidos correspondiente a seis días de trabajo con un total de 109 órdenes que incluyen 54 productos.

### 5.2 Análisis de Resultados

La tabla 6 muestra los promedios de la distancia recorrida en metros para cada tratamiento y el número de órdenes por día.

Los valores mínimos se encontraron en las combinaciones que incluían recogida por lotes. Los resultados para los casos de 8 y 12 órdenes por día muestran que la mejor combinación es CCL, (almacenamiento Coi, enrutamiento combinada y recogida por lotes). En los casos de 10, 14 y 16 órdenes por día, la menor distancia corresponde a PCL. En el caso de 18 órdenes por día la menor distancia se registra en ACL. Para los casos de 8, 10 y 12 órdenes por día el peor resultado fue AMS y para los casos de 16 y 18 órdenes por día el peor resultado estuvo en CTS.

En promedio el peor resultado se observa en AMS (almacenamiento: aleatorio; ruteo punto medio; y recogida: secuencial). La figura 2 muestra la diferencia porcentual entre los diferentes tratamientos y la combinación que presenta peores resultados. La figura refleja la relación entre el peor resultado de la tabla anterior y los demás valores de la tabla. Respecto al peor tratamiento se observa que los tratamientos que reflejan mayores ahorros, con valores cercanos al 60%, son los tratamientos

PCL, CCL, PTL y CTL. Luego sigue un grupo de 10 tratamientos con valores cercanos al 50%.

Tomando el tratamiento PCL (popularidad, combinada, lote) como tratamiento base se conforman tres grupos de acuerdo a su relación con el tratamiento base. El último grupo está integrado por los tratamientos cuyas políticas sean diferentes al tratamiento base (AMW, AMS, ATW, ATS, CMW, CMS, CTW, CTS).

El grupo 1 está conformado por los tratamientos que tengan dos políticas que coincidan con el tratamiento base y una política diferente (PCS, PCW, ACL, CCL, PML, PTL). La figura 3 muestra el incremento porcentual entre la distancia para cada tratamiento comparado y la distancia del tratamiento base. En el primer grupo los tratamientos muestran un comportamiento estable al variar la cantidad de órdenes por día.

**Tabla 6 Distancia promedio recorrida en cada Combinación por número de órdenes por día simulados**

		Transversal		
		Aleatorio	Popular.	Coi
8	Secuencial	3.355	2.023	2.054
8	Lote	1.844	890	887
8	Olas	2.288	971	970
10	Secuencial	3.998	3.066	3.122
10	Lote	2.343	1.480	1.481
10	Olas	3.056	1.797	1.784
12	Secuencial	4.753	4.439	4.494
12	Lote	2.670	1.986	1.980
12	Olas	3.262	2.326	2.312
14	Secuencial	5.425	5.849	5.972
14	Lote	3.138	2.740	2.763
14	Olas	3.928	3.439	3.473
16	Secuencial	6.037	7.386	7.509
16	Lote	3.393	3.233	3.268
16	Olas	4.173	4.169	4.202
18	Secuencial	6.675	9.218	9.377
18	Lote	3.887	4.262	4.302
18	Olas	4.866	5.476	5.463



		Transversal		
		aleatorio	Popular	Coi
8	Secuencial	3.508	2.405	2.391
8	Lote	2.138	1.161	1.161
8	Olas	2.188	972	971
10	Secuencial	4.241	3.497	3.448
10	Lote	2.710	1.869	1.844
10	Olas	2.951	1.730	1.726
12	Secuencial	5.077	4.817	4.783
12	Lote	3.106	2.444	2.446
12	Olas	3.157	2.323	2.336
14	Secuencial	5.826	6.125	6.112
14	Lote	3.644	3.318	3.316
14	Olas	3.804	3.395	3.379
16	Secuencial	6.498	7.467	7.444
16	Lote	3.948	3.901	3.924
16	Olas	3.973	4.080	4.098
18	Secuencial	7.227	9.066	9.072
18	Lote	4.483	5.026	5.019
18	Olas	4.680	5.493	5.434
		Combinada		
		Aleatorio	popular	Coi
8	Secuencial	3.170	1.955	1.986
8	Lote	1.809	890	886
8	Olas	2.256	971	968
10	Secuencial	3.800	2.963	3.010
10	Lote	2.293	1.464	1.465
10	Olas	3.008	1.782	1.767
12	Secuencial	4.526	4.248	4.296
12	Lote	2.620	1.967	1.961
12	Olas	3.217	2.312	2.302
14	Secuencial	5.164	5.565	5.638
14	Lote	3.076	2.704	2.727
14	Olas	3.877	3.400	3.443
16	Secuencial	5.756	6.939	7.018
16	Lote	3.334	3.202	3.231
16	Olas	4.129	4.123	4.153
18	Secuencial	6.366	8.580	8.705
18	Lote	3.806	4.196	4.235
18	Olas	4.804	5.394	5.396

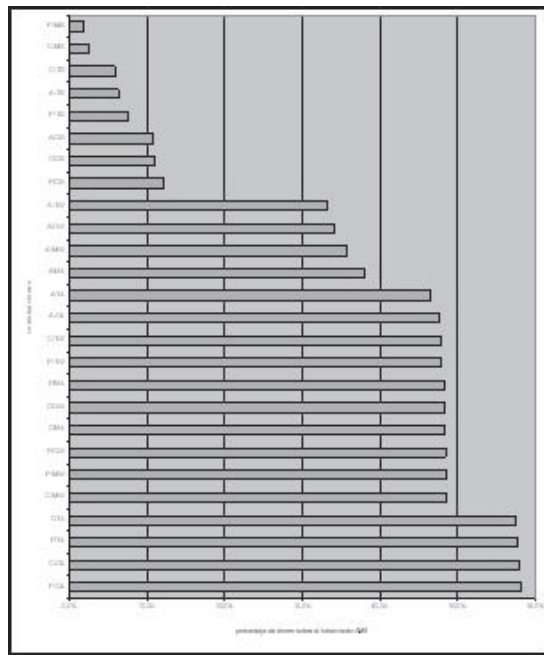


Figura 2 Comparación porcentual de los tratamientos respecto al peor tratamiento

En el grupo 1 se visualiza que los tratamientos PTL y CCL presentan rendimientos similares al tratamiento base. El tratamiento PCS presenta el peor rendimiento comparativo. El tratamiento PML muestra que sus resultados son un 20% mayores que los resultados del grupo base. El tratamiento ACL presenta un incremento muy alto para 8 órdenes por día, sin embargo, la distancia recorrida es inferior para 18 órdenes por día.

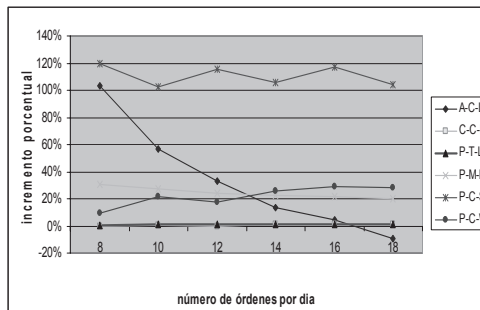


Figura 3 Porcentaje de incremento del grupo 1 respecto a la política PCL

La figura 4 muestra el grupo 2, el cual está conformado por los tratamientos que tengan una política similar al tratamiento base y otros dos políticas difieren del tratamiento base, en primer caso tienen la misma política de almacenamiento pero difieren en las otras dos políticas. Los comportamientos son parejos respecto al número de órdenes por día. Los tratamientos PTW y PMW muestran mejores resultados, sin embargo, están distanciados un 10% del tratamiento base cuando el número de órdenes es de 8 y el incremento es cercano al 30% cuando el número de órdenes aumenta a 18. Los otros dos tratamientos están mucho más alejados.

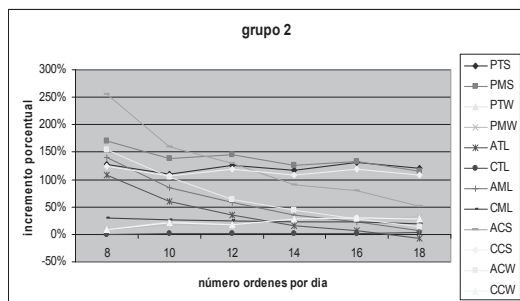


Figura 4 Porcentaje incremento grupo 2 respecto a la política base PCL

En el caso del grupo integrado por los tratamientos que tienen la misma política de recogida (lote) que el tratamiento base. Se destaca el tratamiento CTL que registra similares resultados al tratamiento base. El tratamiento CML presenta un incremento superior al 20% respecto al tratamiento base. Los tratamientos AML y ATL presentan incrementos altos cuando el número de órdenes es de 8 y el incremento disminuye a medida que el número de órdenes aumenta, inclusive el tratamiento ATL es mejor que el tratamiento base en el caso de 18 órdenes por día.

En el caso del grupo de los tratamientos cuya política de enrutamiento sea combinada, los tratamientos no están cercanos a los resultados del tratamiento base. El tratamiento CCW presenta un buen resultado cuando el número de órdenes es de 8, pero, cuando en el caso de

18 órdenes por día el incremento del tratamiento CCW es cercano al 50%. Los tratamientos ACS y ACW muestran un comportamiento similar sus resultados son malos si el número de órdenes es pequeño y el resultado mejora si el número de órdenes es alto

La figura 5 muestra el grupo de los tratamientos cuyas tres políticas son diferentes a las políticas del tratamiento base.

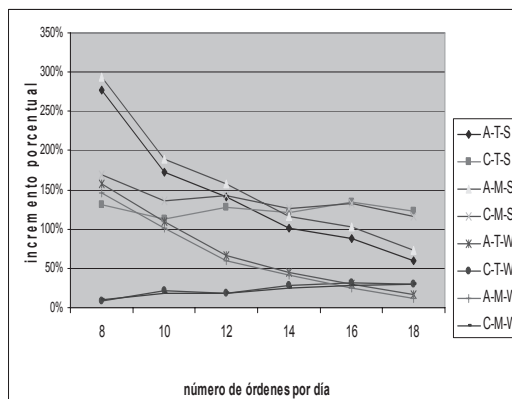


Figura 5 Porcentaje de incremento del grupo 3 respecto a la política base PCL

Los tratamientos cuyo almacenamiento es aleatorio se comporta similar, un mal resultado en el caso de 8 órdenes por día y tiende a mejorar cuando el número de órdenes se incrementa. Los tratamientos CTW y CMW son parecidos, un incremento bajo en 8 órdenes por día y un incremento cercano al 50% en 18 órdenes por día. Los tratamientos CTS, CMS presentan incrementos superiores al 100%.

El grupo de tratamientos cuyo almacenamiento es aleatorio presento un comportamiento similar, un incremento alto en el caso de 8 órdenes por día y a medida que el número de órdenes aumentaba entonces el incremento disminuía. Los tratamientos PCW, PTW, PMW, CCW, CTW y CMW presentan mejores resultados si el número de órdenes es de 8, y el incremento aumenta en la medida que el número de órdenes aumenta.

### 5.3 Selección de las mejores combinaciones

En la tabla 7 se muestra las seis menores distancias para 8, 10, 12, 14, 16 y 18 órdenes por día.

Para 8 órdenes, los cuatro primeros tratamientos presentan comportamiento similar. Las cuatro combinaciones incluyen recogida por lote. Los enrutamiento que utilizan heurística combinada y transversal se ubican entre los primeros seis puestos. En cuanto al tipo de almacenamiento se presenta Coi y popularidad. Para 10 órdenes por día. Los cuatro primeros son similares al caso anterior pero en orden diferente. Los tratamientos que ocupan los puestos 5 y 6 varían. Para 12 órdenes por día. Los cuatro primeros tratamientos se mantienen. Los tratamientos quinto y sexto difieren del caso anterior.

**Tabla 7 Tratamientos con menores distancia producidas en 8, 10 y 12 órdenes por día**

8 órdenes por día		10 órdenes por día		
Tratamiento	promedio	Tratamiento	Promedio	
1	CCL	885,9	PCL	1.464,4
2	CTL	887,2	CCL	1.465,0
3	PCL	889,6	PTL	1.480,3
4	PTL	890,5	CTL	1.480,8
5	CCW	967,8	CMW	1.726,5
12 órdenes por día		14 órdenes por día		
Tratamiento	promedio	Tratamiento	promedio	
1	CCL	1.960,9	PCL	2.703,7
2	PCL	1.967,5	CCL	2.727,3
3	CTL	1.980,5	PTL	2.740,4
4	PTL	1.986,0	CTL	2.763,3
5	CCW	2.302,4	ACL	3.075,8
16 órdenes por día		18 órdenes por día		
Tratamiento	Promedio	Tratamiento	promedio	
1	PCL	3.201,5	ACL	3.806,1
2	CCL	3.230,7	ATL	3.887,3
3	PTL	3.233,3	PCL	4.195,9
4	CTL	3.268,3	CCL	4.234,8
5	ACL	3.334,5	PTL	4.262,1

Para el caso de 14 órdenes por día los cuatro primeros tratamientos son similares. Los tratamientos que ocupan el puesto cinco y seis se caracterizan por el tipo de almacenamiento

aleatorio. El tipo de recogida es por lote en los seis tratamientos. Por otro, la variación de los cuatro primeros es pequeña. Para el caso de 16 órdenes por día son similares a la situación de 14 órdenes por día, la variación porcentual es pequeña para los cuatro primeros y aumenta para los tratamientos 5 y 6. Para el caso de 18 órdenes. Los dos primeros tratamientos que presentan menor distancia pertenecen a almacenamiento aleatorio. Se observa que la variación porcentual es mayor entre los dos primeros y los demás.

En la tabla 8 se elabora el análisis de varianza para los cuatro y cinco primeros tratamientos. Para 8, 10, 12, 14 y 16 órdenes, no existen diferencias significativas entre los cuatro tratamientos. Existe diferencia entre los cinco primeros tratamientos. Se observa que al validar los primeros cinco primeros tratamientos existen diferencias entre los tratamientos. El tratamiento que ocupa el quinto puesto no es similar a las cuatro primeras.

**Tabla 8 Análisis de Varianza para los cuatro y cinco primeros tratamientos en 14, 16 y (\* para dos primeros, \*\* para los tres primeros) 18 órdenes por día**

	8 órdenes por día	10 órdenes por día	12 órdenes por día
	Probabilidad	Probabilidad	Probabilidad
Cuatro primeros tratamientos	99%	82,2%	86%
Cinco primeros tratamientos	0%	0,00%	0,00%
	14 órdenes por día	16 órdenes por día	18 órdenes por día
	Probabilidad	Probabilidad	Probabilidad
Cuatro primeros tratamientos	40,6%	36,5%	* 0,91%
Cinco primeros tratamientos	0,00%	0,27%	** 0,00%

Para el caso de 18 órdenes, los dos primeros tratamientos presentan una variación porcentual pequeña y existe una brecha mayor entre éstos dos y los siguientes, se realiza un análisis de varianza entre los dos y tres primeros



tratamientos. Se rechaza la hipótesis que no existen diferencias entre los tratamientos, es decir, los tratamientos son diferentes. Se concluye que para el caso de 18 órdenes por día la mejor combinación esta en ACL

#### 5.4 Diseño Factorial con tres factores

Se pretende evaluar el impacto que tiene cada política y los tratamientos en los resultados obtenidos. Para cada número de órdenes por día se realizo un análisis para tres factores

En la tabla 9. Para el caso de 8 y 18 órdenes por día se observa que todos los factores y sus combinaciones si influyen en los resultados de la simulación.

Para el caso de 10 órdenes por día, todos los factores influyen en los resultados. Sin embargo, la combinación de los tres factores no influye en los resultados Para el caso de 12 y 14 órdenes por día los factores si influyen a excepción de almacenamiento-ruteo y la combinación de los tres factores. Para el caso de 16 órdenes por día, todos los factores influyen en los resultados. A excepción de la combinación almacenamiento-ruteo.

En todos los casos referentes al número de órdenes por día se encontró que los factores de manera individual son influyentes y tienen impacto en el resultado. En cuanto a la combinación de dos factores, en tres casos se encontró que la combinación almacenamiento-ruteo no influye en el resultado. Los factores de almacenamiento, enrutamientos influyen en todos los casos. Igual situación ocurre con las combinaciones almacenamiento-recogida y ruteo-recogida.

**Tabla 9** Análisis de varianza para la distancia recorrida en 8, 10, 12, 14,16 y 18 órdenes por día

	8 órdenes por día	10 órdenes por día	12 órdenes por día
Fuente Variación	Pr>F	Pr>F	Pr>F
Almacenami	0,00%	0,0%	0,0%
Ruteo	0,00%	0,0%	0,0%
Recogida	0,00%	0,0%	0,0%
almac-ruteo	0,00%	2,5%	44,6%

almac-recog	0,00%	0,0%	0,0%
Ruteo-recogida	0,00%	0,0%	0,0%
Alm-rute-recog	0,01%	30,2%	55,4%
	14 órdenes por día	16 órdenes por día	18 órdenes por día
Fuente Variación	Pr>F	Pr>F	Pr>F
Almacenami	0,0%	0,0%	0,000%
Ruteo	0,0%	0,0%	0,000%
Recogida	0,0%	0,0%	0,000%
almac-ruteo	35,7%	5,8%	0,008%
almac-recog	0,0%	0,0%	0,000%
Ruteo-recogida	0,0%	0,0%	0,000%
Alm-rute-recog	7,1%	0,0%	0,000%

## VI. CONCLUSIONES

Este trabajo evalúa un conjunto de técnicas de políticas aplicadas en el almacenamiento, ruteo y recogida de artículos en un centro de distribución. Combinando técnicas se logran 27 tratamientos posibles. Los resultados de la simulación permitieron identificar las combinaciones que arrojan menores distancias recorridas. Se analizó el comportamiento de las técnicas a medida que cambia el número de órdenes. Comparando los métodos propuestos para evaluación se pudo concluir que existen diferentes métodos que producen resultados diferentes.

Los resultados indican que las mejores combinaciones para los casos de 8, 10, 12, 14 y 16 órdenes por día son PCL, CCL, CTL y PTL. Para el caso de 18 órdenes por día las mejores combinaciones son ACL y ATL, aunque la variación porcentual es pequeña, presentan diferencias significativas. Es de notar que en las combinaciones mencionadas la mejor política de recogida es recogida por lotes.

Las combinaciones que incluyen almacenamiento aleatorio mostraron resultados malos cuando el número de órdenes es bajo, pero los resultados mejoraron al aumentar el número de órdenes por día.

Al aplicar el diseño factorial se encontró que en todos los casos las políticas de almacenamiento, enrutamiento y recogida son factores que si influyen en el resultado y un cambio de política implica cambios en el resultado. Al evaluar combinaciones de dos factores las combinaciones almacenamiento-recogida y enrutamiento-recogida influyen en el resultado en todos los casos.

Algunos aspectos se consideraron constantes en el modelo propuesto. Estudios revisados plantean como variables de decisión factores como el numero de pasillos, la longitud de los pasillos, la inclusión de pasillos cruzados en lugares intermedios, la posición de la puerta tanto de entrada como de salida, la estructura de la bodega, el numero de ordenes en cada lote y la forma rectangular de los bloques.

Solo se evaluaron tres técnicas en cada política. La inclusión de nuevas políticas y técnicas generarían una cantidad apreciable de combinaciones que aumenta considerablemente el tamaño del problema.

## BIOGRAFÍA

Rubén Darío Jácome Cabrales, Lugar de nacimiento Ocaña, Ingeniero Industrial, Universidad Industrial de Santander. Intereses de investigación en Investigación Operacional, Simulación y logística.

## REFERENCIAS

[1] Hsieh Lf, Tsai L. The optimum design of a warehouse system on order picking efficiency. *Int J. Adv Manuf Technol* (2006) 28: 626-637

[2] Jeroen P. Van Den Berg, Noud Gademann. Simulation study of an automated storage/retrieval system. *Int. J. Prod. Res.*, 2000, vol. 38, no. 6, 1339-1356

[3] Ratliff, Rosenthal, 1983. Order picking in a rectangular warehouse: A solvable case of the traveling salesman problem. *Operations Research* 31(3) 507-521

[5] Hall, R. W. 1993. Distance approximations for routing manual pickers in a warehouse. *IIE-Transation*, 25(4) 76-87

[6] Roodbergen, K. J., De Koster R.D. 2001b. Routing methods for a warehouse with multiple cross aisles. *Int J. Prod Res* 39(9): 1865-1883

[8] De Koster R., Le Duc T., Roodbergen KJ. Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*

[9] Petersen, 2000. An evaluation of order picking policies for mail order companies. *Production and Operations Management* 9(4), 319-335.

[11] Petersen, Aasse, 2004. A comparison of picking, storage and routing policies in manual order picking. *International Journal of Production Economics* 92 (1), 11-19

[12] Dekker, Koster, Roodbergen, Van Kalleveen (2003) Improving order-picking response time at Ankor's warehouse. *Interfaces* 34(4), pp 303-313, INFORMS

[13] Roodbergen, Vis. A model for warehouse layout. *IIE Transactions* (2006) 38,799-811.

[14] Gademann, Van Den Berg, Van Der Hoff, 2001. An order batching algorithm for wave picking in a parallel-aisle warehouse. *IIE Transactions*, 33, 385-398.

[16] Leduc Tho. Dekoster Rene. Travel time estimation and order batching in a 2-block warehouse. *European Journal of Operational Research* 176 (2007) 374-388.

[17] Ek Peng Chew-Loon Ching Tang. Travel time analysis for general item location assignment in a rectangular warehouse. *European Journal of Operational Research*, 112 (1999) 582-597.

[19] Ek-Peng Chew, Loon Ching Tang. Order picking systems: batching and storage assignment strategies. *PII: S0360-8352(97)00245-3*.

[21] Gademann, Van De Velde, 2005. Order batching to minimize total travel time in a parallel-aisle warehouse. *IIE Transactions* 37(1), 63-75.

[24] Che-Hung Lin, Iuan-Yuan Lub. The procedure of determining the order picking strategies in distribution center. *International Journal of Production Economics* 60-61 (1999)301-307.

[26] BALLOU Ronald. *Logística, Administración de la Cadena de Suministro*. Quinta edición. Pearson. 2004

[28] GHIANI Gianpaolo, LAPORTE Gilbert, MUSMANNO Roberto. *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*. John Wiley & sons Ltd. 2004

[30] BOWERSOX Donald, CLOSS David, COOPER Bixby. *Administración y Logística en la cadena de suministro*. Segunda Edición. Mc Graw Hill. 2007