

Design of SMARTER multi-criteria model to improve the productivity of the Order-picking process: computational simulation

Luz Andrea Cuzcano Espino, B. Eng.¹, Ana Sofía Vasquez Mamani, B. Eng.¹, José Ramos Bonifaz, M. Eng.¹, and Antony Bazan-Aguilar, M. Sc.¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Peru, u17211504@utp.edu.pe, u18201378@utp.edu.pe, c20504@utp.edu.pe, abazana@utp.edu.pe

Abstract— This paper examines the current situation of the order preparation process in the low-turnover area of a cosmetics company, where the existence of long travel times for the search and selection of products is verified. Therefore, the design and computational validation of a multicriteria model is reported to increase the productivity of the order preparation process in the low-turnover area. The methodology used consisted of collecting information about the products that are stored during a commercial cycle, said information was analyzed and subjected to different mathematical calculations, resulting in a new distribution of locations which affects the travel times within the preparation process of orders. Subsequently, a computational validation of this multi-criteria model was carried out using the Arena simulation software, in which all the possible variants that could realistically represent the order preparation process in the low-turnover area were considered. Finally, the results obtained were analyzed and compared, concluding that productivity increased by 19% with the use of this multi-criteria model without generating additional costs for the company.

Keywords—Order picking process, low turnover zone, SMARTER multicriteria model, computer simulation, productivity.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Diseño de un modelo multicriterio SMARTER para mejorar la productividad del proceso de preparación de pedidos: simulación computacional

Luz Andrea Cuzcano Espino, B. Eng.¹, Ana Sofía Vasquez Mamani, B. Eng.¹, José Ramos Bonifaz, M. Eng.¹, and Antony Bazan-Aguilar, M. Sc.¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Peru, u17211504@utp.edu.pe, u18201378@utp.edu.pe, c20504@utp.edu.pe, abazana@utp.edu.pe

Resumen— En el presente trabajo se examina la situación actual del proceso de preparación de pedidos en la zona de bajo giro de una empresa de cosméticos, donde se comprueba la existencia de largos tiempos de desplazamiento para la búsqueda y selección de productos. Por ende, se reporta el diseño y la validación computacionalmente de un modelo multicriterio para aumentar la productividad del proceso de preparación de pedidos en la zona de bajo giro. La metodología empleada consistió en recopilar información sobre los productos que se almacenan durante un ciclo comercial, dicha información fue analizada y sometida a diferentes cálculos matemáticos, resultando en una nueva distribución de ubicaciones la cual repercute en los tiempos de desplazamiento dentro del proceso de preparación de pedidos. Posteriormente, se realizó una validación computacional de este modelo multicriterio mediante el uso del software de simulación Arena, en el que se contemplaron todas las posibles variantes que pudieran llegar a representar de manera realista el proceso de preparación de pedidos en la zona de bajo giro. Finalmente, los resultados obtenidos fueron analizados y comparados, concluyendo en que la productividad se incrementó en un 19% con la utilización de este modelo multicriterio sin que ello generase costes adicionales para la empresa.

Palabras clave—Proceso de preparación de pedidos, zona de bajo giro, modelo multicriterio SMARTER, simulación computacional, productividad.

I. INTRODUCCIÓN

La asignación de ubicaciones o Store Location Assignment Problem (SLAP) es un problema recurrente que afecta el rendimiento de todo tipo de almacén a través de demoras en las entregas, presencia de excesos o la escasez de los inventarios, los errores durante la preparación de los pedidos, el insuficiente espacio para los productos, entre otros [1], [2].

Ante esta situación, se han creado múltiples estrategias de solución, entre estos, los métodos de decisión multicriterio (MCDM), los cuales permiten analizar diversas alternativas en función a criterios de manera simultánea en una evaluación general [2]–[9].

Entre los diversos métodos multicriterio es posible destacar los alcances de Electre TRI [4], [5], método

Preference Ranking Organization Method for Enriched Evaluation (Promethee) [2], método Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) [7], métodos Electre III [5], [10], método Simple Multi-Attribute Rating, Technique using Exploiting Rankings (SMARTER) [3] y métodos VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromiso Resenje (VIKOR) [11].

Electre TRI y Electre III son variaciones de Elimination Et Choix Traduisant la REalité (ELECTRE) y este método utiliza relaciones de clasificación para decidir acerca de una solución que, aunque no sea ideal, se puede considerar que es apropiada y de esta manera conseguir una categorización de las diferentes alternativas [12], [13]. Por su parte, Promethee, se caracteriza porque no proporciona de manera clara la forma de colocar las ponderaciones a los criterios. TOPSIS se basa en encontrar la opción ideal en [13]. Mientras tanto SMARTER o variación del método *Simple Multi-Attribute Ranking Technique* (SMART), es muy utilizado por su simplicidad ya que exige un menor esfuerzo por parte de los supervisores a cargo [13].

Particularmente, SMARTER establece dos tipos de productos en el almacén, los dominantes y los no dominantes. Los dominantes son aquellos de mayor relevancia que no depende de otros productos para su venta. Asimismo, este método considera tres fases: estructuración del problema, aplicación numérica y determinación de la prioridad del producto para el posicionamiento en el almacén [11]. En síntesis, una asignación óptima de los productos en los lugares de almacenamiento mediante el uso de metodologías multicriterio podrá conseguir un alto rendimiento de los almacenes, mediante la reducción de las distancias recorridas [2], [4], [11], disminución de costos de operaciones del almacén [5], [6], [10], y procedimientos para una adecuada distribución de los productos [3], [8]. En el caso del método SMARTER, la probabilidad de que exista poco aprovechamiento de los espacios es alta, debido a su política de almacenamiento dedicada la cual establece un espacio definido para cada producto e imposibilita la asignación de un nuevo producto en ese espacio así este no cuente con inventarios.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

En el presente estudio, el proceso de preparación de pedidos está conformada por tres zonas, la zona de alta, media y baja demanda. Particularmente, en la zona de baja demanda los productos son almacenados en estanterías convencionales, los pedidos que ingresan a esta zona son detenidos en un área de espera en la cual se evidencia la acumulación de cajas por largos periodos de tiempo y es que, los operarios toman largos tiempos de desplazamiento para la búsqueda y selección de los productos [14]. Por ende, se propone un método de decisión multicriterio para la asignación de ubicaciones de productos de un almacén para aumentar la capacidad de producción en el proceso de preparación de pedidos.

II. ANÁLISIS SITUACIONAL

El proceso de distribución de una empresa de cosméticos en la cual, la preparación de pedidos consiste en seleccionar los productos según las unidades solicitadas por el cliente y depositarlos en una caja para su expedición.

Este proceso es semi-automatizado, puesto que dispone de operarios para la recolección de los productos y de un equipo electromecánico para transportar y facilitar el acondicionamiento de las cajas de pedidos hasta el área de embalaje.

La preparación del pedido se basa en un sistema *pull* ya que inicia el proceso únicamente cuando el cliente realiza un pedido. La línea de preparación de pedidos presenta tres

diferentes zonas en donde se almacena los productos para su utilización, estas son, la zona de alto, medio y bajo giro, según se ilustra en la Figura 1.

En la zona de alto y medio giro se almacenan los productos con mayor rotación, los operarios ubicados en estas zonas preparan los pedidos mediante un sistema *pick to light*. Este tipo de sistema evita el uso de papelería e indica al operario el producto y la cantidad a seleccionar, mediante una pantalla de iluminación.

Por otro lado, en la zona de bajo giro, se ubican los productos con poca rotación en donde el operario prepara los pedidos de manera manual, recolectando los productos almacenados en estanterías. Las cajas de pedidos se mueven a lo largo de toda la línea y se van completando en cada zona según la ubicación del producto requerido.

Durante la preparación de pedidos se evidencian largos tiempos de espera en la zona de bajo giro y la meta principal del área consiste en preparar la cantidad de cajas que ingresan por día y en un mismo turno. La zona de bajo giro es un proceso no automatización y está compuesta por 12 estanterías convencionales, y una línea de espera en donde ingresan las cajas para completar el pedido.

La Figura 1 muestra la zona de espera, que forma parte de la zona de bajo, donde se lleva a cabo la preparación de los pedidos solicitados y está a cargo de un operario.

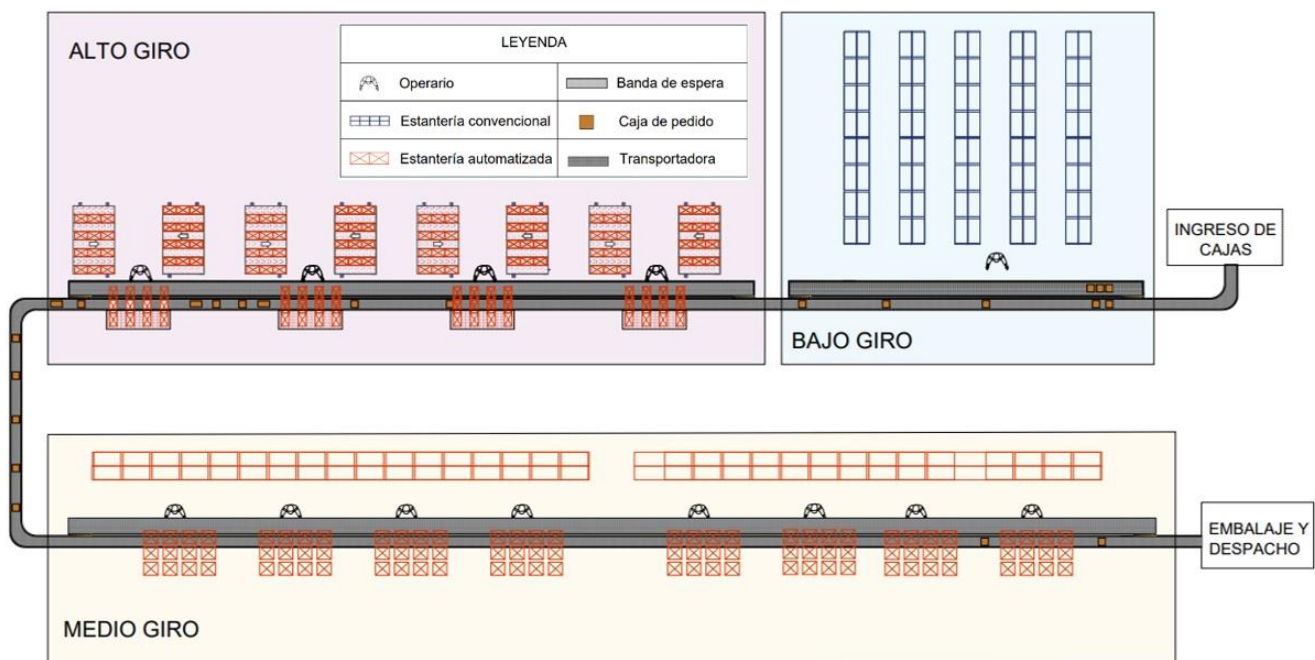


Fig. 1 Layout de la línea de preparación de pedidos.

El diagrama analítico de procesos (DAP) identifica las actividades que se realizan actualmente y los posibles cuellos

de botella. Para el estudio se seleccionará como muestra a los productos de mayor relevancia en la zona de bajo giro, es

decir, los más demandados durante un periodo de 15 días, equivalente a una campaña de ventas.

La zona de bajo giro comprende el almacenamiento de 721 tipos de productos y cuya venta total estimada por campaña es igual a 931 unidades.

Las actividades registradas en el proceso de selección y/o preparación de pedidos son:

- A) *Escaneo de la caja de pedido:* El operario escanea el etiquetado con una personal digital assistant (PDA), el cual le permite visualizar los productos solicitados, así como las cantidades y sus ubicaciones en el área.
- B) *Ubicación del producto:* El operario visualiza las estanterías y localiza el punto al cual debe dirigirse según la ubicación indicada por el PDA.
- C) *Selección del producto:* El operario se desplaza hacia la ubicación en donde se encuentra el producto solicitado.
- D) *Escaneo del producto:* El operario verifica que la ubicación corresponde al producto solicitado y lo escanea para el control de inventarios.
- E) *Desplazamiento hacia la zona de espera:* El operario retorna a su ubicación inicial.
- F) *Colocación del producto en la caja de pedido:* El operario ingresa el producto a la caja y lo ubica nuevamente en la línea de preparación de pedidos para que continúe su flujo.

El proceso de preparación de pedidos comprende tres operaciones y dos transportes. Estas actividades registran extensos tiempos de desplazamientos, a pesar, que las ubicaciones de la zona de baja rotación están codificadas, tal como se muestra en la Figura 2, estas se encuentran sincronizadas con el sistema de gestión de almacenamiento, lo cual, permite conocer la posición exacta en cuanto a número de estantería, nivel y posición, Figura 3.

Por ejemplo, los productos P1 y P2 se encuentran en las ubicaciones M607020410 y M607020409, respectivamente. Es decir, P1 y P2 se encuentran ubicados en la estantería número 7, en el nivel 4, en la posición 10 y 9 respectivamente.

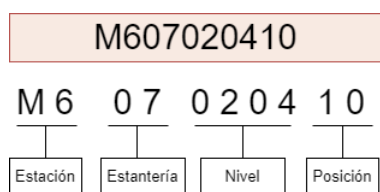


Fig. 2 Codificación de ubicaciones.

En relación con el tiempo de operación se identifica en la Tabla I que el tiempo máximo y mínimo de selección de los productos es igual a 37,2 y 16,8 s, en función de la ubicación y el tiempo de desplazamiento ejecutado.

Al conocer la ubicación exacta de los productos y los tiempos para su análisis, se determina el porcentaje de

cumplimiento de un producto prueba (por ej., producto P2) respecto a los tiempos mínimos en la preparación de los pedidos. El producto 2 es uno de los productos de mayor relevancia en el área, sin embargo, tiene tiempos de desplazamientos muy elevados respecto al tiempo mínimo posible en esta operación, ello afecta la productividad en la preparación de los pedidos, Tabla II.

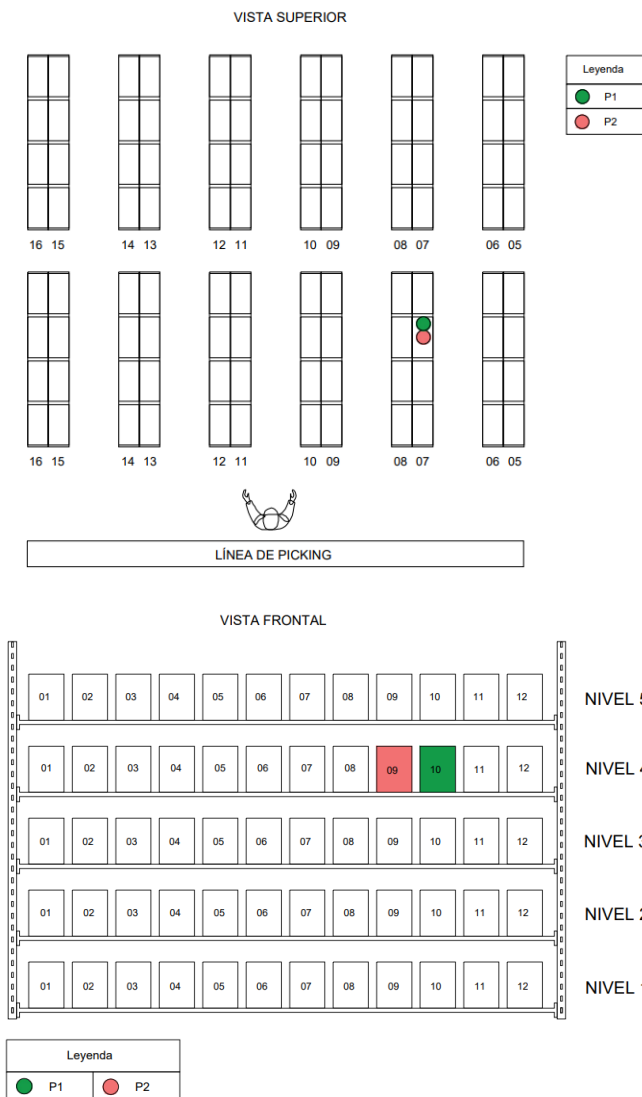


Fig. 3 Vista superior e inferior de ubicación de productos. Producto 1 (verde) y 2 (rojo).

TABLA I
TIEMPO MÁXIMO Y MÍNIMO DEL PROCESO DE SELECCIÓN.

	Actividades	Tiempo mínimo / s	Tiempo máximo / s
1	Escanear la caja de pedido	2,2	2,8
2	Desplazamiento hacia la ubicación	3,6	12,9
3	Selección y escaneo de producto	3,7	4,4
4	Desplazamiento hacia la zona de espera	3,8	13,2

5	Colocación de caja	3,5	3,9
	Tiempos totales	16,8	37,2

TABLA II
CUMPLIMIENTO DE LAS ACTIVIDADES DE PREPARACIÓN DE PEDIDOS
(PRODUCTO P2).

Actividades (Producto P2)	Tiempos / s	Cumplimiento / %
Escanear la caja de pedido	4,3	51
Desplazamiento hacia la ubicación	9,9	36
Selección y escaneo de producto	4,2	88
Desplazamiento hacia la zona de espera	9,6	40
Colocación de caja	3,4	97

Según lo analizado, el cuello de botella se encuentra en las operaciones de desplazamiento que limitan la capacidad global de preparación de pedidos. es decir, que presenta un mayor tiempo total de utilización [15].

En el presente caso la zona de bajo giro es una operación fundamental puesto que forma parte del flujo de preparación de pedidos y si hay demoras afecta toda la línea. Conocer la ubicación exacta de los artículos facilita y agiliza considerablemente las operaciones de un determinado proceso [16]. El uso de la metodología multicriterio SMARTER permitirá obtener las ubicaciones de todos los productos que se encuentran en la zona de baja rotación con el fin de reorganizar y minimizar los tiempos en la preparación de pedidos.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A) Estructuración del problema

Considerando los tiempos identificados en el análisis situacional, se plantea la reubicación de los productos almacenados para minimizar los tiempos de escaneo y desplazamiento, principalmente. Con esta finalidad, se aplica la metodología SMARTER en la cual, se asignan ubicaciones mediante diferentes criterios asociados a las características y la demanda de los productos almacenados. Estos criterios son resumidos en la Tabla III.

1) *Demanda*: los productos con mayor rotación son priorizados, lo cual, influye en la asignación de ubicaciones a determinar mediante la metodología SMARTER. Este dato será obtenido mediante la estimación de la demanda que corresponde a las unidades promedio solicitadas en los últimos ciclos de venta.

2) *Peso y volumen*: la presencia de estanterías no automatizadas implica la ejecución de movimientos manuales y repetitivos por lo cual, es importante considerar las características físicas de los productos que se manipulan. Los productos almacenados en la zona de bajo giro no superan los 3 kg y se distribuyen en cajas con medidas máximas de 40 x

50 cm². Los pesos serán detallados en gramos, mientras que el volumen en cm³.

TABLA III
CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE UBICACIONES SMARTER.

Producto	demanda	peso / g	volumen / cm ³
P1	103	77	177.00
P2	102	18	21.06
P3	102	208	290.78
P4	92	357	1440.00
P5	91	10	91.20
....			
P721	0	26.05	128.67

B) Aplicación Numérica

Seguidamente, se establece una tabla con todos los productos almacenados en la zona de bajo giro para tipificarlos como alternativa dominada y no dominada. Específicamente, una alternativa dominada es aquella que requiere el uso de otro artículo para su adecuado funcionamiento y/o utilización, mientras que la no dominada no requiere la asistencia externa.

De los 721 productos, 589 se establecieron como alternativas dominadas y 132 como alternativas no dominadas. Los productos no dominados corresponden a productos como juegos de anillos, colonia, aretes, entre otros. En cambio, los productos dominados son artículos que requieren la utilización de otro producto para su utilización, como el reloj, pantis, base de maquillaje, entre otros; es decir, las alternativas no dominadas son aquellas que no dependen de otro bien para ser vendidos, mientras que las dominadas si requieren la compra previa de otro producto para que cumplan su función.

Los valores de la suma, máximos y mínimos de la Tabla III son aplicados en la normalización de las alternativas no dominadas, a partir de (1),

$$v'_j(a_i) = \frac{[v_j(a_i) - \text{Min } v_j]}{[\text{Max } v_j - \text{Min } v_j]} \quad (1)$$

En donde, v_j es el valor físico establecido en la alternativa en función del criterio a evaluar, a_i es el valor numérico propuesto por el decisor, $\text{Max } v_j$ y $\text{Min } v_j$ son los valores físicos máximos y mínimos establecidos del criterio a evaluar. Los valores del a_i para la demanda, peso y volumen se ejemplifican en la Tabla IV.

TABLA IV
VALOR DE a_i PARA CADA CRITERIO.

Alternativas no dominadas

Producto	Demanda	$a_{i,p}$	peso	$a_{i,p}$	volumen	$a_{i,v}$
P4	92	0.9	357.00	0.65	1440.00	0.75
P1	103	0.9	77.00	0.3	177.00	0.7
P37	82	0.9	464.95	0.65	1232.00	0.75
...
P695	0	0.9	14.00	0.25	120.00	0.5

Por ende, los valores de las alternativas no dominadas obtenidas a partir de (1) se resumen en la Tabla V.

TABLA V

MATRIZ NORMALIZADA CON ALTERNATIVAS NO DOMINADAS POR CRITERIO.

Producto	Demanda $v_{i,p}$	Peso $v_{i,p}$	Volumen $a_{i,v}$
P4	0.80	0.21	0.13
P1	0.90	0.02	0.01
P37	0.72	0.28	0.11
P20	0.78	0.04	0.02
P13	0.80	0.00	0.01
...
P695	0.00	0.00	0.01

Seguidamente, se calcula el valor del ROC (*Rank Order Centroid*) que permite ordenar los criterios según su importancia. Además, nos permitirá ponderar los criterios conforme a (2),

$$w_i = \left(\frac{1}{M}\right) \sum_{n=i}^M \left(\frac{1}{n}\right) \quad (2)$$

En donde W_i es el peso del criterio, M es el número de criterios totales y n es la cantidad de criterios. Los valores de W_i para la población, peso y volumen son 0,61, 0,28 y 0,11.

Con estos valores se determina el valor del atributo múltiple por criterio, el cual consiste en la suma del producto de las alternativas con sus respectivos pesos de los criterios.

Por ejemplo, se calcula el valor de atributo múltiple del producto 4 (P4).

$$\text{Atributo múltiple del P4} = (0.80 * 0.61) + (0.21 * 0.28) + (0.13 * 0.11)$$

$$\text{Atributo múltiple del P4} = 0.56$$

Con la obtención de estos resultados en la tabla VI se ordenarán la tabla de alternativas no dominadas de mayor a menor según el valor atributo múltiple de cada alternativa. Se

realiza el mismo procedimiento anteriormente descrito con las alternativas dominadas.

C) Asignación de ubicaciones

En esta fase se obtiene un ranking de las 721 alternativas y se asignan las nuevas ubicaciones considerando los criterios anteriormente mencionados. De acuerdo con el valor del atributo en la tabla VII se listan los 20 productos con mayor frecuencia de selección y se asignan las nuevas ubicaciones.

TABLA VI

ATRIBUTO MÚLTIPLE DE CADA ALTERNATIVA NO DOMINADA Y DOMINADA.

Producto	Demanda $v_{i,p}$	Peso $v_{i,p}$	Volumen $a_{i,v}$	Atributo múltiple
Alternativa no dominada				
P4	0.80	0.21	0.13	0.56
P1	0.90	0.02	0.01	0.56
P37	0.72	0.28	0.11	0.53
P20	0.78	0.04	0.02	0.49
P13	0.80	0.00	0.01	0.49
...
P695	0.00	0.00	0.01	0.00
Alternativa dominada				
P3	0.90	0.07	0.02	0.57
P17	0.79	0.14	0.37	0.56
P2	0.90	0.00	0.00	0.55
P8	0.80	0.08	0.13	0.53
P9	0.80	0.06	0.12	0.52
P10	0.80	0.08	0.03	0.52
...
P699	0.00	0.00	0.00	0.00

TABLA VII

NUEVAS UBICACIONES ASIGNADAS DE LAS ALTERNATIVAS DOMINADAS Y NO DOMINADAS MEDIANTE EL MÉTODO SMARTER

Producto	Posición	Estantería	Nivel	Posición
P1	M611020304	11	3	04
P2	M610020301	10	3	01
P3	M611020301	11	3	01
P4	M611020303	11	3	03
P5	M611020204	11	2	04
P6	M611020402	11	4	02
P7	M611020403	11	4	03

P8	M610020302	10	3	02
P9	M610020304	10	3	04
P10	M611020201	11	2	01
P11	M611020203	11	2	03
P12	M611020202	11	2	02
P13	M611020401	11	4	01
P14	M610020401	10	4	01
P15	M610020402	10	4	02
P16	M610020203	10	2	03
P17	M611020302	11	3	02
P18	M610020204	10	2	04
P19	M611020404	11	4	04
P20	M610020403	10	4	03

Por lo tanto, el método SMARTER nos indica que los productos deben ser posicionados según el ranking obtenido en ubicaciones cercanas a las entradas o salidas. En el presente caso de estudio se considera la entrada y salida a la ubicación central del operario, esta se encuentra entre la estantería 10 y 11. Esta ubicación corresponde al área en donde el operario permanece a la espera del ingreso de cajas, asimismo, en esta posición inicia con la operación de preparación de pedidos.

D) Modelo computacional

Se plantea el diseño de un modelo multicriterio computacional para aumentar la capacidad de distribución en el proceso de preparación de pedidos. Con este fin, se aplicó el paquete computacional de simulación Arena y aplicó la ruta de modelamiento reportada por Torres Vega y col. (2016) [17].

En la zona de bajo giro se evidencian largos recorridos por parte de los operarios en la recolección de productos, esto conlleva que haya cajas acumuladas y una menor capacidad de producción en el área. Bajo este contexto, la presente simulación tiene como objetivo representar de manera realista el proceso actual y evaluar la posibilidad de mejorar los indicadores de productividad.

En esta etapa, se identifica todas las actividades que se realizan en la preparación de pedidos desde el momento en que la caja ingresa a la zona de bajo giro hasta que la misma se retira con los productos solicitados por el cliente. Asimismo, se identifican los datos para el modelo los cuales se encuentran relacionados con cada una de las actividades del proceso.

Según el análisis previo, los datos requeridos para el modelo son los siguientes:

- 1) Cantidad de cajas que ingresan a bajo giro
- 2) Cantidad de ítems requeridos por caja
- 3) Probabilidad de elegir determinado producto
- 4) Tiempo de escaneo de la caja
- 5) Tiempo de desplazamiento hacia la ubicación
- 6) Tiempo de selección y escaneo del producto
- 7) Tiempo de desplazamiento hacia la zona de espera

8) Tiempo de colocación de caja en la línea

Estos datos de entrada servirán para establecer un comportamiento del elemento y asociarlo a una determinada función. Los elementos 1, 2 y 3 es tomada de un registro previo (ciclo comercial de 17 días), mientras que los elementos 4, 5, 6, 7 y 8 tendrán como base un estudio de tiempos realizado en los productos de la muestra. Según el resultado, el número promedio de cajas que ingresan al día es igual a 653 cajas en un tiempo de ingreso de 1,1 min caja⁻¹ en la zona de baja rotación. Por otra parte, se determina el número promedio de cajas con 1, 2, 3, ..., 10 elementos y la probabilidad de cada conformación, esta información se muestra la Tabla VIII.

TABLA VIII
PROBABILIDAD DE LAS CANTIDADES DE PRODUCTOS REQUERIDOS POR CAJA.

Cantidad de productos requeridos por caja preparada	Promedio	Probabilidad / %
1	719,86	53,53
2	284,86	21,18
3	155,00	11,53
4	100,57	7,48
5	70,43	5,24
6	12,29	0,91
7	0,71	0,05
8	0,57	0,04
9	0,14	0,01
10	0,29	0,02

Asimismo, se seleccionan a los 20 productos con mayor demanda en la zona de baja rotación. Los productos y las probabilidades de ser elegidos se resumen en la Tabla IX.

TABLA IX
PROBABILIDAD DE PRODUCTO A ELEGIR.

Código	Producto	Probabilidad / %
1478641	P1	7.57%
1441604	P2	7.06%
1476397	P3	6.05%
1480149	P4	5.45%
1464882	P5	5.30%
1395545	P6	4.59%
1395546	P7	4.59%
1435946	P8	4.59%
1435947	P9	4.59%
1439062	P10	4.59%
1439236	P11	4.59%
1447993	P12	4.59%
1466483	P13	4.59%
1466484	P14	4.59%

1466485	P15	4.59%
79574	P16	4.54%
1406696	P17	4.54%
1465178	P18	4.54%
1465179	P19	4.54%
1311203	P20	4.49%

E) Estudio de tiempos

Como primer paso se divide el proceso de estudio en actividades, cuyas características se describen en la Tabla X.

ACTIVIDADES DEL PROCESO DE PREPARACIÓN DE PEDIDOS

Actividad	Descripción
1	Escanear la caja de pedido
2	Desplazamiento hacia la ubicación
3	Selección y escaneo de producto
4	Desplazamiento hacia la zona de espera
5	Colocación de caja en la línea

Se registra diez valores de tiempos en cada actividad ejecutada durante el proceso de selección de productos. Además se calcula el valor del tiempo estándar considerando las holguras recomendadas por ILO (Organización Internacional del trabajo) [15], [18]. Con el factor suplemento de 0,14 se determinan los valores de tiempo estándar para cada actividad del proceso de preparación de pedidos, los cuales se detallan en la Tabla XI.

F) Validación computacional

Considerando los aspectos reportados en la situacional inicial del proceso de preparación de pedidos. En la Figura 4 se establece que el modelo inicial reporta la preparación de 509 cajas en una jornada de trabajo de 12 horas. Este valor representa con gran precisión el número real de caja preparadas (518 cajas) de acuerdo con el registro otorgado por la zona de bajo giro, Tabla XII.

Por otra parte, la productividad del proceso de preparación de pedido en la zona de baja rotación en el modelo computacional inicial es igual a 42 cajas h⁻¹.

De acuerdo con los resultados se determina que el modelo de la situación inicial en el Software Arena está dentro del 5% de error. Una vez validada la situación inicial, se inicia con la situación propuesta. En esta simulación los cambios se dan en los tiempos de desplazamiento tanto de ida como de vuelta según las nuevas ubicaciones planteadas por el método multicriterio SMARTER.

Para obtener los tiempos de desplazamiento hacia cada nueva ubicación se realiza una toma de tiempos con ayuda del operario y se calculó del tiempo estándar. Los cambios en la simulación se realizan en los tiempos de desplazamiento, mientras que los tiempos de escaneo permanecen.

TIEMPOS ESTÁNDARES EN LA PREPARACIÓN DE PEDIDOS

Producto	Elemento	Tiempo estándar por elemento	Tiempo Estándar	Producto	Elemento	Tiempo estándar por elemento	Tiempo Estándar
1	1	4,83	32,6	11	1	5,42	34,5
	2	10,02					
	3	4,45					
	4	10,20					
	5	3,08					
2	1	4,87	32,2	12	1	5,35	33,9
	2	9,76					
	3	4,19					
	4	9,98					
	5	3,41					
3	1	4,84	36,9	13	1	5,14	32,2
	2	11,65					
	3	5,29					
	4	11,97					
	5	3,14					
4	1	5,11	36,2	14	1	5,12	36,1
	2	11,26					
	3	5,23					
	4	11,41					
	5	3,18					
5	1	5,09	36,5	15	1	5,15	36,0
	2	11,26					
	3	5,51					
	4	11,46					
	5	3,16					
6	1	5,12	37,0	16	1	5,25	35,6
	2	11,88					
	3	4,58					
	4	12,23					
	5	3,17					
7	1	4,76	36,3	17	1	5,07	31,0
	2	11,58					
	3	4,81					
	4	11,79					
	5	3,36					
8	1	4,35	34,8	18	1	5,84	32,5
	2	11,33					
	3	4,59					
	4	11,50					
	5	3,07					
9	1	4,86	35,3	19	1	5,21	32,0
	2	11,46					
	3	4,06					
	4	11,78					
	5	3,13					
10	1	5,25	36,7	20	1	5,12	30,1
	2	11,85					
	3	4,25					
	4	12,13					
	5	3,22					

REGISTRO DE CAJAS PENDIENTES Y PREPARADAS EN LA ZONA DE BAJO GIRO

Número de cajas	Ingresan	Pendientes	Preparadas
Ciclo comercial	716	145	571
	699	136	563
	635	133	502
	599	135	464
	603	130	473
	698	155	543
	660	125	535
	695	105	590
	728	145	583
	655	134	521
	640	123	517
	634	131	503
	611	136	475
	630	150	480
599	145	454	
Promedio	653	135	518

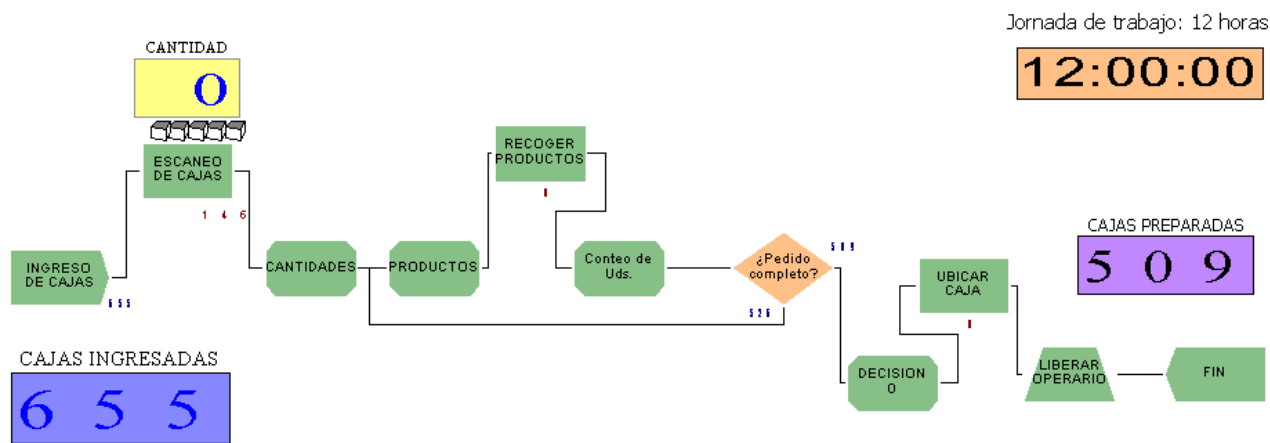


Fig. 4 Modelo computacional inicial del proceso de preparación de pedidos.

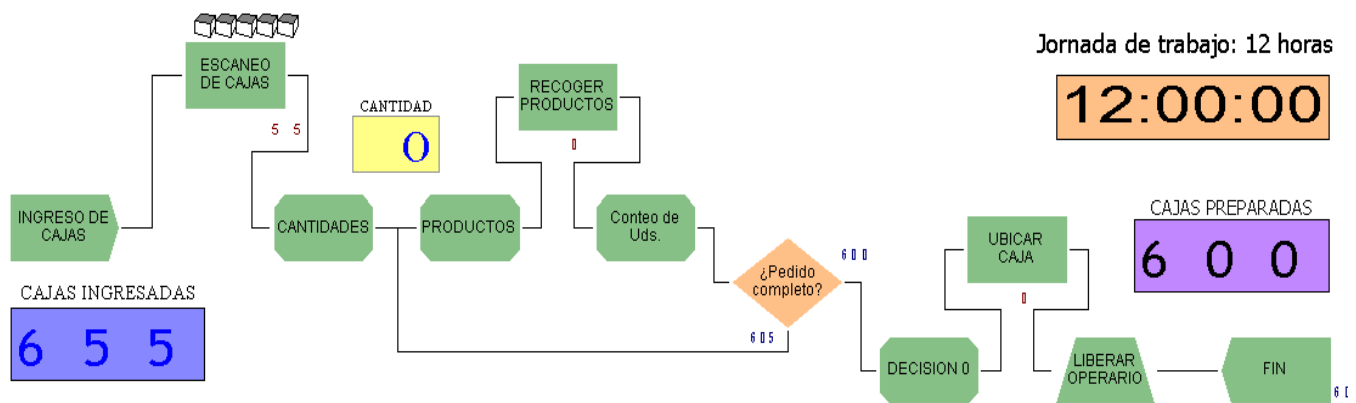


Fig. 5 Modelo computacional final del proceso de preparación de pedidos después de aplicar los criterios de la metodología SMARTER.

La figura 5 representa el modelo propuesto y los datos obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

TABLA XIII
REGISTRO DE CAJAS PENDIENTES Y PREPARADAS EN LA ZONA DE BAJO GIRO

Parámetros	Escenario actual	Escenario propuesto
Cajas ingresadas	655	655
Meta diaria	655	655
Meta por hora	55 cajas / hora	55 cajas / hora
Cajas preparadas	509	600

Con esta información se realiza el nuevo cálculo de la productividad y de la tasa de variación respecto modelo inicial.

Se obtiene un incremento del 19% en valor de la productividad para el proceso de preparación de cajas en la zona de bajo giro respecto a la modelo inicial. Este valor representa la distribución de 91 cajas adicionales preparadas por turno y permite minimizar la cantidad de cajas pendientes por preparar por el siguiente turno, según se muestra en la Tabla XIII.

Se logra reducir los tiempos de ciclo en la zona de bajo giro, y estar más cercano a la meta diaria de producción.

Asimismo, se establece una mejora en el proceso con una inversión mínima.

Adicionalmente, se recomienda colocar productos de menor demanda en esta área para que el ingreso de cajas sea menor y se pueda cumplir con el requerimiento diario de completar todas las cajas que ingresan a la zona.

IV. CONCLUSIONES

Mediante el diseño y validación del modelo multicriterio propuesto para la preparación de pedidos de una empresa de cosméticos se incrementó la productividad de la zona de bajo giro en un 19%.

Por medio de diagramas analíticos del proceso de los productos más relevantes en la zona de baja rotación, se identificaron demoras en los tiempos de desplazamientos debido a una mala distribución de los productos afectando la productividad del área.

La nueva asignación de ubicaciones dada por el método multicriterio SMARTER ubicó a los productos de mayor relevancia en estanterías más cercanas a los puntos de entrada y salida utilizando criterios como la demanda, el peso y el volumen.

De acuerdo con el modelo computacional mediante el software de simulación Arena se obtuvieron 600 cajas preparadas con las nuevas distribuciones de productos en la zona de baja rotación de una empresa de cosméticos.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero otorgado por la Dirección de Investigación de la Universidad Tecnológica del Perú para la ejecución del presente reporte de investigación. Antony Bazan-Aguilar agradece a la universidad por el financiamiento otorgado mediante el contrato de investigación P-2022-LIM-12.

VI. REFERENCIAS

[1] J. J. R. Reyes, E. L. Solano-Charris, and J. R. Montoya-Torres, "The storage location assignment problem: A literature review," *Int. J. Ind. Eng. Comput.*, vol. 10, no. 2, pp. 199–224, 2019.

[2] M. E. Fontana and C. A. V. Cavalcante, "Use of Promethee method to determine the best alternative for warehouse storage location assignment," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 70, no. 9–12, pp. 1615–1624, 2014.

[3] D. D. Da Silva, N. V. C. De Vasconcelos, and C. A. V. Cavalcante, "Multicriteria decision model to support the assignment of storage location of products in a warehouse," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2015, 2015.

[4] M. E. Fontana and C. A. V. Cavalcante, "Electre tri method used to storage location assignment into categories," *Pesqui. Operacional*, vol. 33, no. 2, pp. 283–303, 2013.

[5] M. E. Fontana and V. S. Nepomuceno, "Multi-criteria approach for products classification and their storage location assignment," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 88, no. 9–12, pp. 3205–3216, 2017.

[6] T. Malcic and P. Besta, "Multicriteria inventory classification in the expedition warehouse of the metallurgical company," in *METAL 2020 - 29th International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings*, 2020, pp. 1262–1267.

[7] R. Micale, C. M. La Fata, and G. La Scalia, "A combined interval-valued ELECTRE TRI and TOPSIS approach for solving the storage location assignment problem," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 135, pp. 199–210, 2019.

[8] G. Zhu and H. Yu, "A two-stage multi-criterion stochastic programming model for medical supply location in biochemical attacks," in *Proceedings - International Conference on Natural Computation*, 2013, pp. 708–712.

[9] Ó. Sigüencia, L. Neves, R. S.-Maskana, and undefined 2017, "Metodologías de decisión multicriterio para planeación energética en zonas rurales del Ecuador," *Publicaciones.Ucuena.Edu.Ec*, pp. 289–298, 2017.

[10] M. E. Fontana, J. C. L. López, C. A. V. Cavalcante, and J. J. S. Noriega, "Multi-criteria assignment model to solve the storage location assignment problem," *Investig. Operacional*, vol. 41, no. 7, pp. 1019–1029, 2020.

[11] B. Sarıcan, M. E. Baysal, and A. Sarıcan, *Determination of the Best Alternative Position for the Storage Location/Product Assignment by Using VIKOR*, vol. 307, 2022.

[12] S. a Berumen and F. Llamazares, "La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente," *Cuad. Adm.*, vol. 20, no. 34, pp. 65–87, 2007.

[13] M. Velasquez and P. Hester, "An analysis of multi-criteria decision making methods," *Int. J. Oper. Res.*, vol. 10, no. 2, pp. 56–66, 2013.

[14] M. M. Navarro, "Simulation of a manual order picking system in a convenience store chain distribution center," *Proc. LACCEI Int. Multi-conference Eng. Educ. Technol.*, no. July, pp. 27–31, 2020.

[15] R. Chase, *Diseño de puestos y medicion del trabajo*. 2009.

[16] E. Kusriani *et al.*, "Warehousing performance improvement using

Frazelle Model and per group benchmarking: A case study in retail warehouse in Yogyakarta and Central Java," *MATEC Web Conf.*, vol. 154, 2018.

[17] P. J. Torres Vega, *Simulación de Sistemas con el software Arena*. 2016.

[18] B. W. Niebel and A. Freivalds, "Ingeniería industrial métodos, estándares y diseño del trabajo," 2006.