






# Optimización de estaciones de trabajo de un almacén del sector textil del estado de Hidalgo

## Optimization of workstations in a warehouse in the textile sector of the Hidalgo state

O. Guerrero-Estrada <sup>a</sup>, G. E. Anaya-Fuentes <sup>a,\*</sup>, O. Montaña-Arango <sup>a</sup>, J. R. Corona-Armenta <sup>a</sup>,

S. B. Ramírez-Reyna <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

### Resumen

El problema de balanceo de líneas de ensamble presenta una diversidad de modalidades y tipos en función de las condiciones de las organizaciones; al ser considerado como un problema NP su solución presenta limitaciones de complejidad computacional; por lo tanto, los métodos exactos no son factibles debido a la necesidad de las organizaciones por encontrar soluciones en tiempos razonablemente cortos, lo que motiva a utilizar métodos heurísticos. En este documento se propone un heurístico de búsqueda local para minimizar el número de estaciones de trabajo en el almacén de una empresa textil del Estado de Hidalgo mediante el muestreo y determinación de las distribuciones de probabilidad a las que las actividades del proceso se ajustan, es decir, considerando tiempos estocásticos, lo cual en nuestro conocimiento no se ha realizado de acuerdo con la literatura consultada. Los resultados demuestran la eficiencia del algoritmo propuesto al reducir el número de estaciones de trabajo en el almacén de una empresa del sector textil.

**Palabras Clave:** Optimización, balanceo de líneas de ensamble, estaciones de trabajo, heurísticos.

### Abstract

The balancing problem of assembly lines presents a diversity of modalities and types depending on the conditions in the organizations and the problem to be solved; it is considered as an NP problem, its solution presents computational complexity limitations; therefore, the exact methods are not feasible due to the need of organizations to find solutions in a reasonably short time, for which heuristic methods are used. In this document, a local search heuristic is proposed to minimize the number of workstations in the warehouse of a textile company in the Hidalgo State based on sampling and determination of the probability distributions to which the activities of the process are adjusted, that is, considering stochastic times. The results demonstrate the efficiency of the proposed algorithm by reducing the number of workstations in the warehouse of a company in the textile sector.

**Keywords:** Optimization, assembly line balancing, workstations, heuristics.

## 1. Introducción

El balanceo de líneas de ensamble es un método que permite distribuir actividades de un proceso en estaciones de trabajo con la intención de evitar cuellos de botella, tiempos de espera y desperdicios; tiene como objetivo encontrar una distribución de la capacidad adecuada, para asegurar un flujo continuo y uniforme de los productos a través de los diferentes procesos dentro de la planta de producción, bajo condiciones de cantidad, equilibrio y continuidad (Peña-Orozco, Neira-

García, y Ruiz-Grisales, 2016). Además, el adecuado balanceo de las líneas de producción es capaz de incrementar la productividad (Budi Rochayata y Widodasih, 2023). En la literatura podemos encontrar una variedad de contextos para este problema, lo que genera una categorización de estos. El Problema de Balanceo de Líneas de Ensamble Simple tipo 1, por sus siglas en inglés definido como SALBP-1 tiene como objetivo minimizar el número de estaciones de trabajo a partir de un tiempo de ciclo predeterminado; el Problema de Balanceo de Líneas de Ensamble Simple tipo 2, por sus siglas

\*Autor para la correspondencia: [gustavoerick\\_anay@hotmail.com](mailto:gustavoerick_anay@hotmail.com)

**Correo electrónico:** [gu325780@uaeh.edu.mx](mailto:gu325780@uaeh.edu.mx) (Omar de Jesús Guerrero-Estrada), [gustavoerick\\_anay@hotmail.com](mailto:gustavoerick_anay@hotmail.com) (Gustavo Erick Anaya-Fuentes), [omontano@uaeh.edu.mx](mailto:omontano@uaeh.edu.mx) (Oscar Montaña-Arango), [jrcorona@uaeh.edu.mx](mailto:jrcorona@uaeh.edu.mx) (José Ramón Corona-Armenta), [sramirez@uaeh.edu.mx](mailto:sramirez@uaeh.edu.mx) (Sergio Blas Ramírez-Reyna).

en inglés definido como SALBP-2 tiene como objetivo minimizar el tiempo de ciclo dado un número de estaciones de trabajo fijo, esto ocurre cuando la planta de producción no tiene opciones de crecimiento o bien existe un alto costo de incorporar nuevas estaciones de trabajo. El Problema de Balanceo de Líneas de Ensamble Simple de Eficiencia SALBP-E busca la eficiencia entre estaciones de trabajo y el tiempo de ciclo, ninguno de estos es fijo. El Problema de Balanceo de Líneas de Ensamble Simple Factible SALBP-F tiene como objetivo encontrar soluciones factibles en un proceso con estaciones de trabajo y tiempos de ciclo fijos (Kamarudin y Rashid, 2018). La diversidad de problemas mencionados previamente tiene la característica de considerar tiempos estándar, tiempos promedios y en general tiempos determinísticos, comparando el rendimiento de los algoritmos de solución con bases de datos determinísticas. En la práctica, los tiempos requeridos en la producción o ensamble de una actividad en su respectiva estación de trabajo suelen ser estocásticos; es posible ajustarlo a una distribución de probabilidad a partir de una prueba estadística de bondad.

La presente investigación realizada al área de almacén de una empresa del sector Textil del estado de Hidalgo, presenta características propias del SALBP-1, adicionalmente propone ajustar los tiempos de las actividades a una distribución de probabilidad para resolver el problema, lo cual en nuestro conocimiento no se ha realizado; la literatura se ha enfocado en tiempos determinísticos. Adicionalmente, el problema presenta restricciones de precedencia intrínsecas al proceso de producción (Kamarudin y Rashid, 2017).

Este trabajo se encuentra organizado de la siguiente manera: la sección 2 se incluye una sección con los antecedentes del problema abordado en esta investigación, la sección 3 plantea el problema de manera cualitativa y matemática, la sección 4 presenta la metodología propuesta, en tanto, la sección 5 muestra los resultados de la implementación del algoritmo como herramienta de optimización.

## 2. Antecedentes

Los distintos tipos de problemas se han abordado desde distintos métodos de optimización, es así como el SALBP-F ha sido estudiado para optimizar dos objetivos: tiempos de proceso y combinación de estaciones de trabajo, utilizando métodos heurísticos y analíticos identificando su eficiencia en las soluciones (Peña-Orozco y Jiménez-Gómez, 2019).

Se ha analizado la posibilidad de encontrar líneas de ensamble medianamente balanceadas con un mejor rendimiento que líneas de ensamble bien balanceadas. Este efecto se conoce como el fenómeno del cuenco (Castellucci y Costa, 2015). Los resultados obtenidos se analizan y los hallazgos aquí obtenidos indican, por primera vez, la existencia del fenómeno bowl en un amplio conjunto de configuraciones (correspondientes a la amplia gama de instancias probadas) y también la posibilidad de reproducir tal fenómeno en línea con una fuerza de trabajo heterogénea.

El problema de balanceo de líneas de ensamble se ha resuelto mediante software computacional y algoritmos

genéticos, recomendando hacer uso de métodos híbridos que podrían aumentar la idoneidad de estos enfoques (Matondang y Jambak, 2010). Los algoritmos genéticos combinados con análisis de simulación demostrando eficiencia en los resultados fundamentados en mejoras de los procesos (Peng, Liu, y Xu, 2017), entre otros que han utilizado algoritmos genéticos (Fathi, Nourmohammadi, Syberfeldt, y Eskandari, 2020). También se ha propuesto el uso de heurísticos anteriormente no probados para este problema, como es el caso de los métodos de Hoffman y Comsoal (Karatepe Mumcu, 2022). Adicionalmente, para el caso de líneas de ensamble por ambos lados se utilizaron algoritmos meméticos (Rubiano-Ovalle y Arroyo-Almanza, 2009).

Se combinó el problema de balanceo de línea de ensamble multitripulada con el de forma de U, considerando tiempos de tareas de proceso estocástico utilizando un algoritmo evolutivo para resolver el problema (Zakaraia, Zaher, y Ragaa, 2021). Lo anterior permite tener trabajadores a ambos lados de la estación de trabajo desde la entrada hasta la salida, sin embargo, en la literatura no se encontró un trabajo que considere tiempos estocásticos en el SALBP-1.

Otros enfoques de solución de problemas de balanceo de líneas de producción están centrados en técnicas de programación por metas multiobjetivo para minimizar el tiempo de ciclo, estaciones de trabajo e inventario en proceso. Se identificó la necesidad de equilibrar estos tres parámetros; los tiempos de ciclo bajos permiten disminuir los inventarios de producto en proceso, pero esto aumenta el número de estaciones necesarias por lo que se requieren estrategias que permitan un equilibrio entre estos requerimientos (Orejuela-Cabrera y Flórez-González, 2019).

Se ha probado que minimizar el índice de suavidad (SI) no es necesariamente equivalente a minimizar las estaciones de trabajo (Fathi, Machado Martins Fontes, Urenda Moris y Ghobakhloo, 2018). Por lo tanto, no debe usarse como la función de aptitud en los enfoques que abordan el SALBP-1. La eficiencia de línea (LE) y el tiempo de inactividad (IT) son de hecho un rendimiento confiable medidas para minimizar el número de trabajadores (NW). Las heurísticas más prometedoras para rectas y en forma de U. También se clasifican e introducen configuraciones de línea para SALBP-1. Adicionalmente en la modalidad de SALBP-1 se ha buscado la minimización de los tiempos muertos, denominados idle time (Agarwal, Bagul, Agey, y Ayare, 2019).

El SALBP-1 ha sido utilizado para resolver problemas de casos en la industria (Yu-Hsin Chen, Ping-Shun, Jr-Fong, Sung-Lien, y Li-Jen, 2021); analizando a través de la simulación con experimentos diseñados para modos de una sola tarea y multitarea comparando los resultados obtenidos entre búsqueda constructiva voraz, tabú y recocido simulado. Encontraron que el algoritmo de búsqueda tabú es mejor que el recocido simulado en el problema de la asignación de personal.

El problema en cuestión ha evolucionado en su análisis enfocándose al SALBP-1 Multitripulado, en el cual se busca minimizar a las estaciones de trabajo y a los tiempos muertos llamados idle time; utilizaron algoritmos genéticos para solucionar el problema con resultados satisfactorios en tiempos computacionales factibles (Zamzam y Elakkad, 2021). El

problema también ha sido analizado desde el enfoque de asignación de trabajadores en ambos lados de la línea de ensamble en la búsqueda por minimizar el tiempo de ciclo, es decir, en la modalidad SALB-2 (Muhammad, Rashid, Fadzil, y Muhamad, 2017).

Otro heurístico utilizado en la búsqueda por el rebalanceo de las líneas de ensamble cuando ocurren eventos disruptivos son los Algoritmos Genéticos (Mazouzi, Belassiria, ELfezazi, Cherrafi, y ELMaskaoui, 2018).

El SALBP-1 fue resuelto utilizando un Algoritmo Genético auto inmune, esta propuesta permite encontrar resultados factibles y óptimos desde la primera ejecución; la función objetivo es minimizar el número de estaciones de trabajo y la carga de las estaciones con un tiempo de ciclo predeterminado (Zhang, 2023). En general se han utilizado diversos heurísticos para mejorar el desempeño del sistema y evitar los cuellos de botella (Abu Baka, Fadzli Raml, Zakimi Zakaria, Chan Sin, y Masran, 2020). Incluso se han utilizado métodos intuitivos para el problema de equilibrio de la línea de montaje tipo U en conjunto con un método de modelado matemático aportando mejoras a un estudio de caso (Can y Öner, 2021). Recientemente se utilizó el método de orden lexicográfico de los vectores (Xu, Mahadi Shavarani, Ghadiri Nejad, Vizvari, y Toghraie, 2023) para resolver el balanceo de líneas de ensamble. Los resultados computacionales en este estudio especifican que el enfoque de la solución desarrollada funciona de manera eficiente y produce el mejor rendimiento global solución de todos los problemas de prueba ALB, lo que demuestra el potencial del método propuesto y su ventaja competitiva.

Los enfoques que la literatura ha seguido se basan en modelos determinísticos, sin embargo, con mayor frecuencia los procesos en las organizaciones son estocásticos, es por ello que se desarrolló en balanceo de líneas de ensamble con tiempos de operación aleatorios y distribuciones normales, además, de las restricciones propias del SALBP-2 (Gu, Hennequin, Sava, y Xie, 2007). Otros documentos de la literatura han utilizado heurísticos a este problema aplicándolo a casos de estudio (Jirasirilerd et al., 2020).

### 3. Planteamiento del problema

El Problema de balanceo de líneas de ensamble tipo 1 SALBP-1 consiste en asignar a un conjunto de tareas con restricciones de precedencia a un conjunto de estaciones de trabajo, con la finalidad de minimizar el número de estaciones con un tiempo de ciclo predeterminado (Kamarudin y Rashid, 2018). Este problema es considerado como NP-Completo (Matondang y Jambak, 2010). Adicionalmente el problema requiere datos estocásticos que alimenten a las entradas del sistema, por lo que, es necesario tomar un muestreo para determinar la distribución de probabilidad a la que mejor se ajusta la variable correspondiente. El SALBP-1 puede definirse como se muestra a continuación:

$$\text{Min } Z = \sum_{j=1}^{Mmax} y_j$$

$$\sum_{i=1}^N t_i * x_{ij} \leq C * y_j \quad j = 1,2,3 \dots Mmax \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{Mmax} j * x_{kj} \leq \sum_{j=1}^{Mmax} j * x_{ij} \quad \forall k < i \quad (2)$$

$$y_{j+1} \leq y_{ij} \quad j = 1, \dots, Mmax - 1 \quad (3)$$

$$x_{ij} = \{0,1\} \forall (j) \quad (4)$$

$X_{ij}$  es una variable binaria que toma el valor de 1 si la tarea  $i$  se hace en la estación  $j$ , mientras que  $j$  toma el valor de 1 si existe la estación  $j$ . El tiempo de proceso de la tarea  $i$  es definido como  $t_i$ . El tiempo de ciclo se simboliza con la letra  $C$ . La función objetivo consiste en minimizar el número de las estaciones de trabajo y Si la estación  $j$  es asignada la variable  $X_{ij}$  toma el valor de 1, por lo que el tiempo  $t_i$  se suma al acumulado; la restricción prohíbe que el tiempo acumulado sea mayor que el tiempo de ciclo de acuerdo con la restricción (1). La restricción (2) asegura las reglas de precedencia. La restricción (3) es referente a la secuenciación de las estaciones de trabajo. Finalmente, la restricción (4) define características de una variable binaria.

La presente investigación tiene como objetivo general encontrar soluciones factibles y óptimas al problema de balanceo de líneas de ensamble minimizando el número de estaciones de trabajo. Por otra parte, se busca cumplir con los siguientes objetivos específicos:

1. Proponer y utilizar un algoritmo de búsqueda local aleatoria que optimice.
2. Comparar los resultados con los de la literatura.
3. Optimizar un proceso de producción con tiempos estocásticos obtenidos de la industria textil mediante un heurístico de búsqueda aleatoria.

### 4. Metodología

Con la intención de cumplir con los objetivos de investigación se programó el algoritmo de búsqueda local aleatoria como se describe a continuación:

1. Documentar el proceso de producción identificando las restricciones de precedencia. Es indispensable que éste se encuentre estandarizado.
2. Realizar un muestreo aleatorio y realizar una prueba de bondad de ajuste para ajustar los datos de cada actividad a una distribución de probabilidad.
3. Generar una población de secuencias aleatorias.
4. Considerar a las restricciones de secuenciación para asignar la tarea  $i$  a la estación  $j$  para cada uno de los  $k$  individuos.
5. Considerar el tiempo acumulado, es decir, la suma de los tiempos de las tareas asignadas a la estación  $j$ .

6. Si el tiempo acumulado es menor o igual que el tiempo de ciclo, se confirma la asignación de la tarea  $i$  a la estación  $j$ , de lo contrario la tarea  $i$  se asigna a la estación  $j+1$ .
7. Si la asignación del paso 6 se realiza en la estación  $j+1$ , se reinicia el tiempo acumulado debido a que se trata de una nueva estación de trabajo, sumando el tiempo de la tarea  $i$ . Regresar al paso 4 hasta alcanzar  $k$  individuos.
8. Si la asignación del paso 6 se realiza en la estación  $j$ , se confirma la asignación a esta estación. Regresar al paso 4 hasta alcanzar  $k$  individuos.

La metodología puede ser expresada como se muestra en la figura 1.

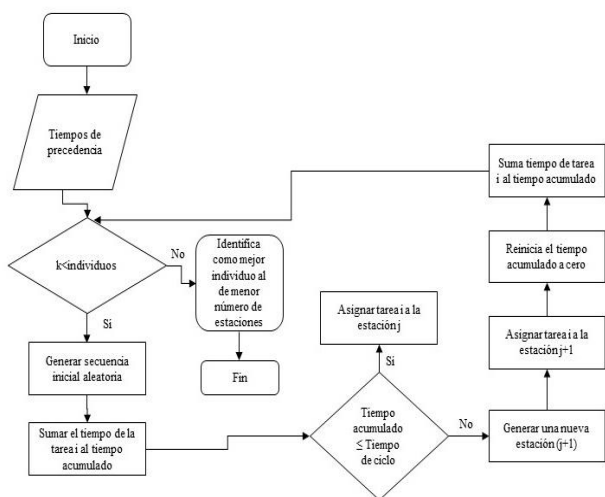


Figura 1. Algoritmo de búsqueda local.

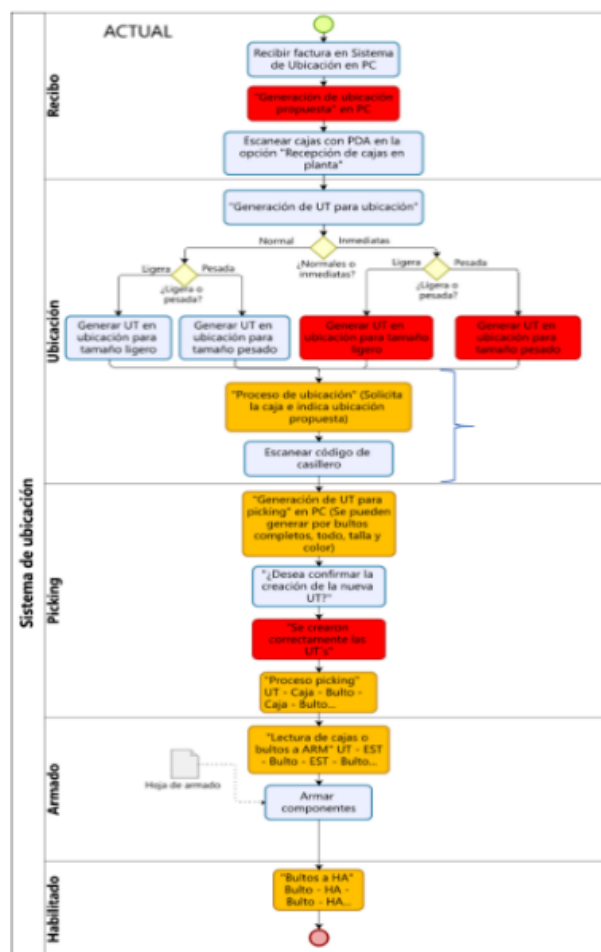


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso.

## 5. Resultados

Atendiendo a la metodología de la sección anterior, el proceso se encuentra estandarizado y debidamente documentado como se muestra en la Figura 2. Mediante la Prueba de bondad de ajuste conocida como Kolmogorov Smirnov se identificaron las distribuciones de probabilidad a las que se ajustan los tiempos de las tareas, adicionalmente se determinaron los tiempos esperados como se muestra en la Tabla 1.

Mediante un análisis en planta y teniendo como fundamento el diagrama de flujo funcional de la Figura 2, se determinaron las restricciones de precedencia de la Tabla 2.

Al aplicar el método propuesto al estudio de caso, se obtuvo como resultado el uso de 3 estaciones de trabajo, considerando un tiempo de ciclo de 120 minutos; el motivo para utilizar este tiempo radica en que la tarea 16 tiene este tiempo espera, por lo tanto, no es factible tomar un tiempo menor. Por lo anterior, la figura 3 representa la solución para el caso de estudio.

Tabla 1: Distribuciones de probabilidad y valores esperados de las tareas del proceso en almacén

Número de tarea	Descripción	Tiempos esperados en minutos	Distribución de probabilidad a la que se ajusta
1	Recibir en sistema de ubicación en PC	1	Normal
2	Generación de ubicación propuesta en PC	5	Normal
3	Escanear cajas con PDA en la opción "Recepción de cajas en planta"	2	Normal
4	Generación de UT para ubicación	1	Uniforme
5	Generar UT en ubicación para tamaño ligero normal	2	Uniforme
6	Generar UT en ubicación para tamaño pesado normal	3	Uniforme
7	Generar UT en ubicación para tamaño ligero inmediato	3	Uniforme
8	Generar UT en ubicación para tamaño pesado inmediato	4	Uniforme

9	Proceso de ubicación: solicita la caja e indica ubicación propuesta	5	Normal
10	Escanear código de casillero	5	Normal
11	Generación de UT para picking en PC; se pueden generar por bultos completos, todo, talla y color.	7	Normal
12	Confirmar la creación de la nueva UT	0.117	Normal
13	Verificación de las UTs	0.083	Normal
14	Proceso de picking	30	Uniforme
15	Lectura de cajas o bultos	10	Normal
16	Amar componentes	120	Normal
17	Bultos a HA	20	Normal

Tabla 2. Matriz de precedencia

Precedentes	Tarea
1	2
2	3
3	4
4	5
4	6
4	7
4	8
5,6,7,8	9
9	10
10	11
11	12
12	13
13	14
14	15
15	16
16	17

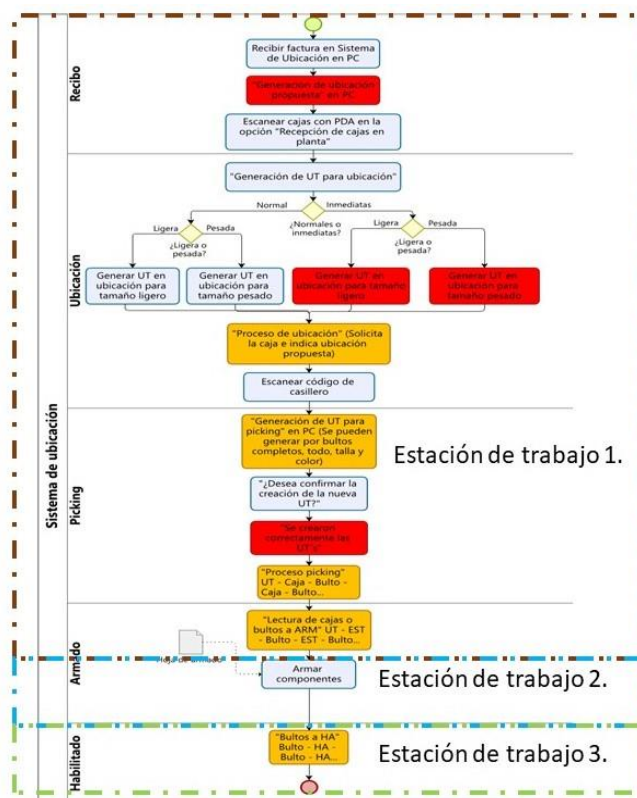


Figura 3. Asignación óptima de estaciones de trabajo

## 6. Conclusiones

A partir de los resultados es posible concluir que el algoritmo propuesto permitió minimizar el número de estaciones de trabajo en el proceso de almacén de una empresa del sector textil del estado de Hidalgo en un tiempo computacional.

Los resultados mostrados en la sección anterior, sirvieron para realizar una propuesta de mejora en el proceso de almacén. El diagrama de flujo funcional resultante de la secuencia propuesta y de mejoras en las estaciones de trabajo se presenta en la Figura 4.

Es necesario reflexionar que el problema de balanceo de líneas de ensamble presenta dificultades en su solución al clasificarse como NP, por lo que los resultados presentados mediante el heurístico no aseguran un óptimo global para el caso de estudio y para las diferentes instancias de la literatura, sin embargo, la industria requiere tiempos factibles de respuesta de manera que los heurísticos son la mejor solución hoy en día de acuerdo con los resultados observados en la presente investigación.

En futuras investigaciones podrían utilizarse algoritmos heurísticos probados en la literatura, con la intención de mejorar la eficiencia del algoritmo en términos de makespan,

El contexto inicial no existía un balance de la línea de producción, las estaciones de trabajo no estaban definidas y no se había determinado un tiempo de ciclo, provocando ineficiencia, tiempos en exceso y cuellos de botella; sin una definición clara se utilizaban hasta 6 estaciones de trabajo. Con los resultados mostrados se evidencia una reducción del 50% en el espacio de trabajo haciendo eficiente al proceso y disminuyendo los costos.

En referencia al algoritmo utilizado y en términos computacionales resultó ser eficiente, debido a que la ejecución de este en el Software Matlab requirió un tiempo de 0.103 segundos con un tamaño de 100 individuos y en una iteración.



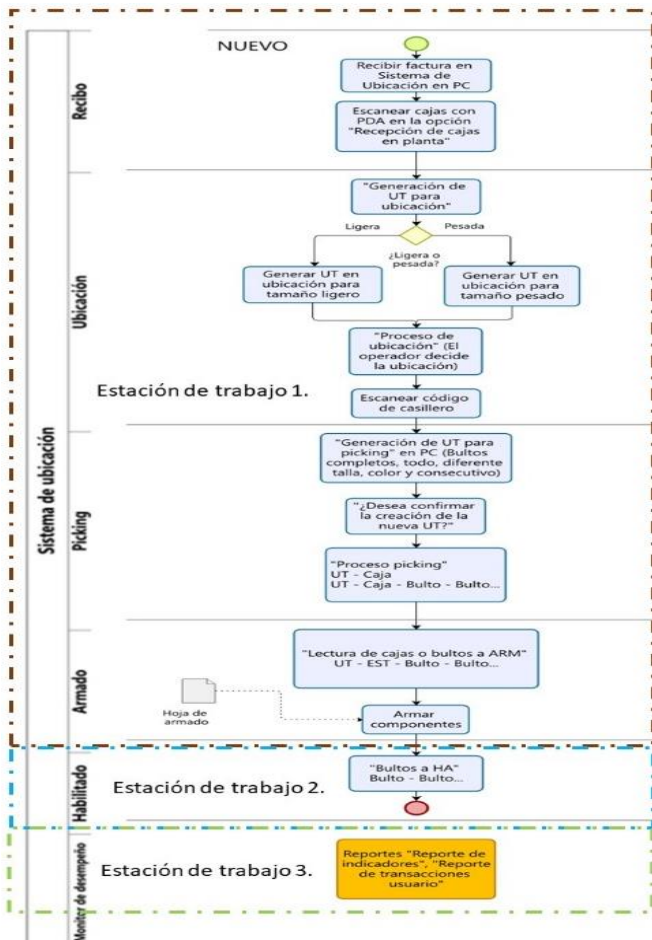


Figura 4. Diagrama de Flujo mejorado e implementado.

el cual no fue analizado en este trabajo, además, de mejorar el número de estaciones de trabajo utilizados en diferentes instancias.

## Referencias

- Abu Baka, N., Fadzli Raml, M., Zakimi Zakaria, M., Chan Sin, T., & Masran, H. (2020). Solving assembly line balancing problem using heuristic: a case study of power transformer in electrical industry. *Indonesian Journal of Electrical and Computer Science*, 2502-4752.
- Agarwal, R., Bagul, D., Agey, C., & Ayare, P. (2019). Basic Study of Assembly Line Balancing. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2627-2630.
- Budi Rochayata, K. S., & Widodasih, W. K. (2023). Analysis of The Line Balancing Assembly Implementation to Increase Productivity. *Indonesian Journal of Business Analytics*, 827-836.
- Can, E., & Öner, A. (2021). Analysis and balancing of assembly line in a machine molding factory. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 87-96.
- Castellucci, P. B., & Costa, A. M. (2015). A NEW LOOK AT THE BOWL PHENOMENON. *Pesquisa Operacional*, 57-72.
- Fathi, M., Machado Martins Fontes, D. B., Urenda Moris, M., & Ghobakhloo, M. (2018). Assembly line balancing problem: a comparative evaluation of heuristics and a computational assessment of objectives. *Journal of Modelling in Management*, 1-21.
- Fathi, M., Nourmohammadi, A., Syberfeldt, H., & Eskandari, A. (2020). An improved genetic algorithm with variable neighborhood search to solve the assembly line balancing problem. *Engineering Computations*, 501-521.
- Gu, L., Hennequin, S., Sava, A., & Xie, X. (2007). Assembly Line Balancing Problems Solved by Estimation of Distribution. *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, 123-127.
- Jirasirilerd, G., Pitakaso, R., Sethanan, K., Kaewman, S., Sirirak, W., & Kosacka-Olejnik, M. (2020). Simple Assembly Line Balancing Problem Type 2 By Variable Neighborhood Strategy Adaptive Search: A Case Study Garment Industry. *Journal of Open Innovation: Technology, Market and Complexity*.
- Kamarudin, N. H., & Rashid, A. (2017). Modelling of Simple Assembly Line Balancing Problem Type 1 (SALBP-1) with Machine and Worker Constraints. *International PostGraduate Conference on Applied Science & Physics*, 1-10.
- Kamarudin, N. H., & Rashid, M. F. (2018). Modelling of Simple Assembly Line Balancing Problem Type 1 (SALBP-1) with Machine and Worker Constraints. *International PostGraduate Conference on Applied Science & Physics*, 1-10. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1049/1/012037/pdf>
- Karatepe Mumcu, Y. (2022). Application of Heuristic Assembly Line Balancing Methods to Lighting Automation Industry. *European Journal of Technique*, 204-208.
- Matondang, M. Z., & Jambak, M. I. (2010). Soft Computing in Optimizing Assembly Lines Balancing. *Journal of Computer Science*, 141-162.
- Mazouzi, M., Belassiria, I., ELfezazi, S., Cherrafi, A., & ELMaskaoui, Z. (2018). An integrated model for assembly line re-balancing problem. *International Journal of Production Research*, 5324-5344.
- Muhammad, M., Rashid, A., Fadzil, M., & Muhamad, R. (2017). A review of two-sided assembly line balancing problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-34.
- Orejuela-Cabrera, J. P., & Flórez-González, A. (2019). Balanceo de líneas de producción en la industria farmacéutica mediante Programación por metas. *INGE CUC*, 109-122.
- Peng, J., Liu, X., & Xu, Z. (2017). A Novel Approach for the Assembly Line Balancing Problem through In-tegration of Genetic Algorithm and Simulation Analysis. *Recent Patents on Engineering*.
- Peña-Orozco, D. L., & Jiménez-Gómez, J. L. (28 de septiembre de 2019). Problema de balanceo de una línea del tipo SALBP: caso de una línea de confección de prendas. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 11(2), 176-196. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.22335/rict.v11i2.866>
- Peña-Orozco, D. L., Neira-García, Á. M., & Ruiz-Grisales, R. A. (2016). Aplicación de técnicas de balanceo de línea para equilibrar las cargas de trabajo en el área de almacenaje de una bodega de almacenamiento. *Scientia et Technica*, 239-247.
- Rubiano-Ovalle, Ó., & Arroyo-Almanza, A. (2009). Solución de un problema de balanceo de línea de ensamble serial de dos lados utilizando algoritmos meméticos. *Ing. Univ.*, 267-280.
- Xu, S., Mahadi Shavarani, S., Ghadiri Nejad, M., Vizvari, B., & Toghraie, D. (2023). A novel competitive exact approach to solve assembly line balancing problems based on lexicographic order of vectors. *Helijon*, 1-12.
- Yu-Hsin Chen, G., Ping-Shun, C., Jr-Fong, D., Sung-Lien, K., & Li-Jen, C. (2021). Applying Meta-Heuristics Algorithm to Solve Assembly Line Balancing Problem with Labor Skill Level in Garment Industry. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 1438-1450.
- Zakaraia, M., Zaher, H., & Ragaa, N. (2021). Solving Stochastic Multi-Manned U-shaped Assembly Line Balancing Problem Using Differential Evolution Algorithm. *International Journal of Production Management and Engineering*, 13-22.
- Zamzam, N., & Elakkad, A. (2021). Time and space multi-manned assembly line balancing problem using genetic algorithm. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 733-749.
- Zhang, H.-y. (2023). An immune genetic algorithm for simple assembly line balancing problem of type 1. *Assembly Automation*, 113-123.