Horizonte Académico
Revista Multidisciplinaria
Recibido:09/08/2025 Aprobado:10/09/2025

DOI: https://doi.org/10.70208/3007.8245.v5.n3.226

Minimización de estaciones de trabajo en el balanceo de líneas de ensamble mediante un heurístico híbrido

Itzel Hernández Pérez
he357231@uaeh.edu.mx
https://orcid.org/0009-0000-6911-7803
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
México-Mineral de la Reforma

Gustavo Erick Anaya Fuentes
ganaya@uaeh.edu.mx
https://orcid.org/0000-0002-3708-6763
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
México-Mineral de la Reforma

Irving Barragán Vite
irvingb@uaeh.edu.mx
https://orcid.org/0000-0002-3625-6943
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
México-Mineral de la Reforma

Enrique Martínez Muñoz
emmunoz@uaeh.edu.mx
https://orcid.org/0000-0001-6418-5292
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
México-Mineral de la Reforma

RESUMEN

El balanceo de líneas de ensamble beneficia a las organizaciones productivas al reducir los costos de operación, sin embargo, el problema es calificado como NP-hard debido a su complejidad computacional. Es por ello por lo que se han utilizado diferentes algoritmos heurísticos para su solución; debido a que a pesar de no asegurar soluciones óptimas es posible reducir los costos de operación mediante soluciones próximas al óptimo en un tiempo computacional factible. La presente investigación propone un algoritmo híbrido del recocido simulado con búsqueda local con el objetivo de solucionar una variante del balanceo de líneas de ensamble conocido como Problema de Balanceo Simple de Líneas de Ensamble Tipo 1 llamado SALBP-1 por sus siglas en inglés (Simple Assembly Line Balancing Problem) y que consiste en minimizar las estaciones de trabajo de una línea de ensamble con tiempos de ciclo fijos. Previamente se realizó una revisión de la literatura que permitió la identificación de antecedentes y formulación de un marco teórico. Los resultados fueron comparados mediante pruebas de hipótesis demostrando eficiencia del algoritmo a nivel poblacional con un nivel de significancia de 0.05 frente a instancias de algoritmos alcanzando valores reportados como óptimos en la literatura para bases de datos de comparación y en algunos otros casos con resultados próximos a los óptimos reportados por la literatura frente al valor P de 0.0000 demostrando mejores resultados a nivel poblacional.

Palabras clave: balanceo de línea, recocido simulado, búsqueda local

Minimizing workstations in assembly line balancing using a hybrid heuristic

ABSTRACT

Balancing assembly lines benefits manufacturing organizations by reducing operating costs. However, this problem is classified as NP-hard due to its computational complexity. For this reason, various heuristic algorithms have been employed to solve it. Although these methods do not guarantee optimal solutions, they can provide near-optimal results within feasible computational time, thereby contributing to cost reduction.This research proposes a hybrid algorithm combining simulated annealing with local search to address a variant of assembly line balancing known as the Simple Assembly Line Balancing Problem Type 1 (SALBP-1). The SALBP-1 focuses on minimizing the number of workstations in an assembly line while maintaining fixed cycle times. A comprehensive literature review was conducted to identify relevant background information and establish a solid theoretical framework. The results were compared through hypothesis tests, demonstrating the efficiency of the algorithm at the population level with a significance level of 0.05 compared to instances of algorithms reaching values reported as optimal in the literature for comparison databases and in some other cases with results close to the optimal ones reported by the literature compared to the P value of 0.0000, demonstrating better results at the population level.

Keywords : line balancing, simulated annealing, local search

INTRODUCCIÓN

El método Simple Assembly Line Balancing Problem Type 1 en adelante llamado SALBP 1, se le conoce por ser una técnica de optimización que se utiliza con el fin de lograr una distribución equitativa del trabajo entre las estaciones en cada una de las líneas, lo cual ¨es un factor crítico para la productividad de una empresa, su objetivo es hallar 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 (Peña Orozco, Neira García, & Ruiz Grisales, 2016).

Este método se basa en asignar un conjunto de tareas a las estaciones de tal forma que se minimice el número de estaciones, dado un tiempo de ciclo (o tasa de producción), lo que permite minimizar los tiempos de espera y maximizar la eficiencia del proceso.

El método de SALBP-1: se caracteriza por disponer de un tiempo de ciclo asignado o tasa de producción (Rastrepo, Medina V, & Cruz T, 2018).

Este modelo es uno de los más antiguos y más utilizados en fabricación y muchos sectores industriales, tal como lo plantean Pastor, Bernal & Cock, (2010), este es clave en la gestión de operaciones ya que hace un gran aporte en la reducción de fallas y aumento de la productividad, lo que mejora la flexibilidad y competitividad de una compañía en un mercado cada vez más complejo (Orozco & Jiménez Gómez, 2014), esto al distribuir de manera eficiente el trabajo en la línea de producción, por lo que a su vez este se ha convertido en un factor determinante pues hay demasiada competitividad en todas las compañías, ya que actualmente se tiene un mercado caracterizado por su creciente complejidad.

Debido a la competitividad que se tiene, la minimización de los costos de producción es un objetivo primordial para los directivos de las organizaciones. Para minimizar costos, existen diferentes estrategias, una de ellas se basa en el balanceo de las líneas de producción. Las líneas de ensamble han sido utilizadas tradicionalmente para producir grandes cantidades de un modelo único, este modelo es denominado como Línea de ensamble de un solo modelo, por otra parte existen los modelos denominados línea de ensamble de modelo mixto, en el cual el sistema de ensamble es lo suficientemente flexible para producir más de un modelo de manera mezclada y sin patrones o

tendencias y la tercera clasificación es conocida como Línea de ensamble de modelos múltiples, caracterizada por producir distintos tipos de productos de una familia en una misma línea, requiriendo una configuración previa al cambio de producción (Kumar y Mahto, 2013). Sin embargo, su balanceo requiere técnicas diferentes de las tradicionales (Raquel Murillo Garcia, 2018).

Toda empresa debe conocer, estudiar y mejorar el comportamiento de las diferentes variables involucradas al interior de su sistema de manufactura, especialmente la línea de ensamble (Rastrepo, Medina V, & Cruz T, 2018). Lo anterior se debe a la gran importancia del balanceo para la reducción de fallas y aumento de la productividad dentro de nuestro proceso, lo cual nos ayuda a nuestros objetivos principales en un mercado que día tras día se vuelve más complejo.

Es por ello por lo que se busca resolver el Problema de balanceo de líneas de ensamble tipo 1, adaptando los heurísticos conocidos como Búsqueda Local Iterada y Recocido Simulado para minimizar el número de estaciones de trabajo en un proceso de ensamble, mediante un enfoque de Balanceo de Líneas de Ensamble en la modalidad de Problema tipo 1.

Ya que cuando se tiene un balanceo adecuado, este minimiza los cuellos de botella o bien, los tiempos muertos en el transcurso del proceso, lo que disminuye los retrasos en la producción, ahora, otro factor que se necesita tener muy en cuenta es que el problema general de los sistemas de producción consiste en definir la correcta asignación de recurso a los procesos de fabricación, para lograr un equilibrio que ayude a encontrar la forma de minimizar costos, mantener la calidad y usar el tiempo eficientemente (Orejuela Cabrera & Flores González , 2019). Además, una línea se considera equilibrada si utilizando los recursos al máximo, la suma de los tiempos libres de las estaciones es lo más pequeño posible (Restrepo, Medina V, & Cruz T, 2006). Esto se logra ajustando la secuencia y la programación de tareas a las estaciones de manera que se optimice la utilización de los recursos disponibles, debido a que, al minimizar el tiempo libre de las estaciones, se evita la subutilización de los recursos y se asegura que todas las estaciones estén trabajando de manera continua y eficiente.

Cabe mencionar que hay diferentes líneas de ensamble las cuales se clasifican de acuerdo al número de trabajadores por estación de trabajo, en primer lugar se encuentra a las Líneas de ensamble simples, en

las que por las dimensiones del producto solo es posible asignar a un trabajador por estación; por otra parte están las Líneas de ensamble a dos lados, son denominadas así por presentar la factibilidad de asignar uno o dos trabajadores a cada estación de trabajo; finalmente se encuentran las líneas de ensamble multi-tripuladas (MAL), que se caracterizan por asignar uno, dos, tres o más trabajadores por estación de trabajo (Zamzam N. y., 2021).

El problema de optimización de líneas de ensamble multi-tripuladas tiene sus orígenes en la línea de ensamble de un solo modelo (Kumar, 2013) propuesto por (Talbot, 1984) y resuelto mediante un algoritmo de programación entera, reportando el número óptimo de estaciones de trabajo en diferentes instancias de un máximo de 111 tareas. Sin embargo, el costo computacional es elevado al ser considerado también como un problema NP. El problema de líneas de ensamble multi-tripuladas es afectado por diferentes factores, uno de ellos es el número de trabajadores en cada estación de trabajo, desarrollando modelos matemáticos que lo representen, con la intención de minimizar el número de trabajadores y en una segunda instancia minimizar el número de estaciones de trabajo mediante programación lineal (Yazdanparast, 2011). A pesar de propuestas de métodos exactos de programación lineal mejorados (Sato-Michels, 2020), la complejidad computacional es una limitante en la búsqueda exhaustiva, por lo que se han explorado enfoques basados en heurísticos como la optimización de colonia de hormigas (Roshani A. y., 2012), en la búsqueda de minimizar el tiempo de ciclo.

El Balanceo de Líneas de Ensamble consiste en conjuntar actividades u operaciones que cumplan con un tiempo de producción para que no existan cuellos de botella en una línea de producción.

La idea principal de una línea de ensamble se trata de que un producto se arma gradualmente a medida que es transportado, pasando frente a estaciones de trabajo relativamente fijas, por un dispositivo de manejo de materiales.

El problema de balanceo de línea de ensamble (ALBP): consiste en hallar un balance de línea (asignación de cada tarea a una estación) tal que se cumplan restricciones de precedencia, entre otras restricciones (Pena-Orozco, 2019). Los problemas de equilibrio de la línea de montaje (ALBP) surgen cada vez de que se configura, rediseña o ajusta una línea de montaje. Un ALBP consiste en distribuir la carga de trabajo

total para fabricar cualquier unidad de los productos a ensamblar entre las estaciones de trabajo a lo largo de la línea.

A lo largo de la historia diversos investigadores han estudiado el algoritmo de la búsqueda local iterada, el cual ha tenido diversos nombres, esto dependiendo de las características distintivas.

Esta búsqueda es base de algunos otros métodos los cuales son utilizados en diversos problemas de optimización, ya que tiene la ventaja de encontrar soluciones de una manera muy rápida.

Según Glover y colaboradores, el método analizado es un método estocástico de búsqueda local que iterativamente aplica búsquedas locales a perturbaciones del punto actual (solución inicial) de una manera aleatoria en un espacio de soluciones óptimas (Labrada Nueva , Enríquez Urbano, & García Ojito , 2014). Este espacio de solución lo que hace es que genera una sucesión de puntos del espacio en el que cada uno de ellos o se obtiene del anterior por medio de transformaciones o que se repiten continuamente hasta seleccionar la mejor solución encontrada en el recorrido.

Las metaheurísticas tienen diversas características que las hacen flexibles y de gran importancia debido a que cada una no está diseñada para un tipo de problema en específico, lo cual permite que se pueda aplicar en muchos campos y diversos problemas, ya que tienen como objetivo la determinación del valor óptimo, de una función multidimensional.

El Recocido Simulado (RS) es un procedimiento introducido por Kirkpatrick, Gelatt y Vecci (Hernández , Hernández, & Flores, 2011), en sí es una variante de la búsqueda local que permite movimientos ascendentes para evitar quedar atrapado prematuramente en un óptimo local (Dowsland & Diaz, 2001). Este método imita el proceso físico por el que un sólido es enfriado lentamente, hasta que llegue a un punto en el que su estructura molecular es congelada. Entonces si el proceso de enfriamiento es lo suficientemente lento, los átomos del metal formarán una estructura libre de defectos o estructura estable. En contrapartida, si el proceso de enfriamiento se realiza con rapidez, los átomos del metal formarán una estructura defectuosa (Wilches Visbal & Martins da Costa, 2019).

La aplicación de los algoritmos de búsqueda local iterada y de recocido simulado ha arrojado resultados positivos y eficaces en diversos tipos de problemas. Por ejemplo, en problemas con restricciones de

complementariedad de un modelo lineal con restricciones de equilibrio, lo cual ha dado resultados favorables.

Los resultados alcanzados por estos algoritmos fueron comparados con un algoritmo de búsqueda aleatoria para verificar la efectividad de estos. Esta comparación evidenció que la utilización de algoritmos heurísticos es una propuesta viable para la solución de esta clase de problemas (Tamayo Vera , Bouza Allende , & Bolufe Rohler , 2016).

Del mismo modo se presentó un método de optimización multiobjetivo, en un problema de balanceo de carga en redes de transmisión, en el cual los resultados han sido favorables, ya que la heurística de recocido simulado ha demostrado que "es una herramienta eficaz para la búsqueda de óptimos globales (Jiménez, Lacatt, & Donoso, 2005).

Otra adaptación del recocido simulado en el secuenciamiento de tareas también ha arrojado resultados favorables, en este caso todos los trabajos que se realizan tienen el mismo flujo de producción, al adaptar dicha técnica los resultados fueron relevantes ya que este obtuvo un comportamiento aceptable, este comportamiento muestra la robustez de la técnica del RS en el problema de secuenciamiento de tareas (Álvarez Martínez, Toro Ocampo, & Gallego Rendon, 2008).

También se resolvió un problema de flowshop flexible hibrido, el cual se puede encontrar en diferentes ambientes industriales, en este se utilizó tanto el recocido simulado como la búsqueda local iterada, por separado, en tanto a la búsqueda local obtuvo los mejores resultados empleando el menor esfuerzo computacional en un alto porcentaje de las instancias (Minetti & Salto, 2013).

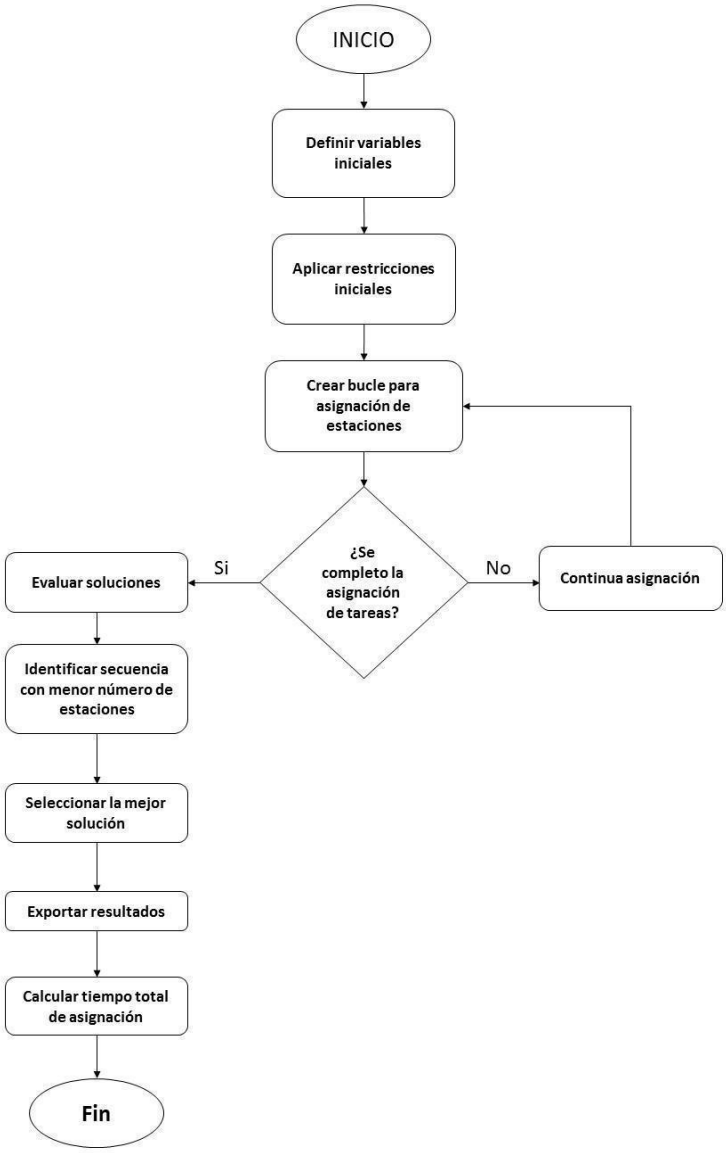
En tanto a la resolución del balanceo de línea de ensambles simples, el recocido simulado "es muy promisorio pues permite obtener soluciones alternativas cercanas al valor mínimo dado por el número teórico de estaciones, además no reporta una única solución, sino que puede reportar varias soluciones alternativas, permite además poner una configuración inicial factible de partida, lo cual también influye en la convergencia de la metaheurística" (Capella, Montagna, Camussi, & Cafaro).

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo, debido a que fundamenta un análisis numérico y a su vez la aplicación del algoritmo para la optimización del proceso. En tanto al diseño metodológico es de tipo experimental ya que se implementó un modelo que fue sometido a diversas pruebas para así evaluar su eficacia. La simulación ha sido una herramienta cada vez más utilizada para proporcionar una plataforma de prueba para experimentar con los resultados de una propuesta de balanceo, pues de esta manera es más fácil identificar las ineficiencias y cuellos de botella en el sistema (Rodriguez Alvarado , Loyo Quijada, Lopez Ontiveros, & Ávila Soler , 2021), por lo que es posible observar cómo esta responde a diferentes escenarios al realizar modificaciones en el modelo, antes de implementarlos en el mundo real, lo cual nos da una ventaja más, ya que al realizarlo nos arroja los resultados que se esperarían al implementarse, esto sin ningún riesgo económico, lo que permite tomar decisiones en este caso sobre la propuesta de balanceo con el fin de realizar ajustes correspondientes o bien de aceptar el modelo para implementarlo en nuestra línea de producción lo que conduce a una mejora continua en la eficiencia y también en la efectividad de la misma.

La propuesta del algoritmo puede representarse como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Diagrama de flujo del algoritmo propuesto



El proceso inicia definiendo las variables esenciales como lo son el número de tareas, el tiempo de ciclo, etc.

Posteriormente se hace un bucle donde se aplican las restricciones específicas que se tienen en el problema, y aquí se van asignando tareas a las estaciones disponibles esto teniendo siempre en cuenta las restricciones establecidas.

Una vez que termina la asignación, se evalúan todos los resultados con el fin de identificar aquella que utiliza el menor número de estaciones, ya una vez realizado este paso se exportan los resultados para

su análisis o bien para un uso posterior, para finalmente calcular el tiempo total de ejecución del proceso considerando como criterio de paro a las iteraciones.

El algoritmo utilizó de manera secuencial al algoritmo de Búsqueda Local Iterada con un tamaño de pila de 100 individuos, los resultados fueron tratados mediante el algoritmo Recocido Simulado con una temperatura inicial concerniente al número de individuos alcanzando 10, 000 y disminuyendo conforme a las iteraciones hasta llegar a 500, utilizando para su generación la paquetería random del lenguaje de programación Python. Es importante mencionar que para las corridas del algoritmo se utilizó un equipo portátil de cómputo i5 con 4 núcleos de con 8 GB en RAM y 512 GB en disco duro programando en lenguaje de programación Python.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La siguiente tabla presenta en la primera columna el autor de la instancia, seguido por el número de tareas a realizar "N" en la segunda columna, mientras que la tercera columna muestra el tiempo de ciclo, cabe destacar que los valores son tomados del artículo de (Jianping, Jun, & Qi, 2011).

Por último, se encuentran los resultados obtenidos con el algoritmo propuesto, en el cual podemos ver la diferencia en el número de estaciones de trabajo.

Tabla 1. Comparaciones de resultados del algoritmo propuesto con los de la literatura

Instance	N	Tiempo de ciclo	Mejor número de estaciones de trabajo encontradas por (Jianping, Jun, & Qi, 2011)	Número de estaciones de trabajo obtenido con el algoritmo propuesto
Mitchell	21	21	5	5
		26	5	5
		35	3	3
		39	3	3
Sawyer	30	30	12	12
		36	10	15
		41	8	10
		54	7	8
Kilbrid	45	57	10	15
		79	7	10
		92	6	6
		110	6	6

Tonge	70	364	10	13
		410	9	12
		468	8	10
		527	7	9
Arcus2	111	8847	18	22
		10027	16	25
		10743	15	19
		11378	14	17

Para evaluar la eficiencia del algoritmo propuesto se realiza una comparación estadística mediante una prueba de hipótesis para diferencia de medias pareadas, la cual es la más apropiada para comparar poblaciones dependientes.

Figura 2. Prueba de hipótesis para diferencia de medias pareadas

Prueba

Hipótesis nula H_0: diferencia_$\mu = 0$
Hipótesis alterna H_1: diferencia_$\mu < 0$

Valor T	Valor p
-4.35	0.000

La prueba fue realizada utilizando Minitab Statical Software 22. La prueba planteada busca demostrar que el número de estaciones de trabajo obtenidas por el algoritmo propuesto en esta investigación es mejor que el de la literatura, por lo anterior, la hipótesis nula consiste en decir que la diferencia de medias pareadas es de cero, es decir, que no existe diferencia; en contra de la hipótesis alternativa que indica como menor a la población de estaciones de trabajo.

Como se muestra en la Figura 2 y debido a que el Valor p < el nivel de significancia (0.05), la hipótesis nula no se acepta en favor de la hipótesis alternativa, es decir, que el número de estaciones trabajo obtenido por el algoritmo propuesto en esta investigación es menor, lo que implica un mejor resultado respecto al de la literatura.

CONCLUSIONES

La combinación de la búsqueda local iterada y el recocido simulado mejoran la eficiencia en la asignación de estaciones de trabajo, ofreciendo mejores resultados a las necesidades del proceso que se tienen.

De igual manera el minimizar el número de estaciones tiene implicaciones económicas bastante considerables ya que se reducen costos asociados a la adquisición de maquinaria o bien a su mantenimiento, y a su vez se optimiza el espacio de trabajo.

En investigaciones futuras es posible buscar optimizar los parámetros de entrada, tales como tamaños de poblaciones y almacenes en la búsqueda local.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarez Martinez, D., Toro Ocampo, E., & Gallego Rendon, R. (2008). Algoritmo recocido simulado aplicad al problema de secuenciamiento de tareas en sistemas de produccion lineal FLOW-SHOP. *Scientia et Technica*.

Bernal, M. E., & Cock, G. (2010). Taller aplicado al diseño y eficiencia de lineas de ensamble: Caso libreta de notas . *Scientia et Technica Año XVI, No 45,*.

Capella, L., Montagna, A., Camussi, N., & Cafaro, D. (s.f.). Aplicacion de la Metaheuristica "Simulated Annealing" al balanceo de lineas de ensamble simples. 93-104.

Cristofani, F. (2023). *Líneas de ensamble.* Obtenido de deingenieriaindustrial.com: https://deingenieriaindustrial.com/administracion-operaciones/lineas-de-ensamble/

Dowsland , K. A., & Diaz, B. A. (2001). Diseño de Heuristicas y fundamentos del Recocido Simulado. *Revista iberoamericana de Inteligencia Artificial* , 34-52.

Hernandez , J., Hernandez, S., & Flores, I. (2011). Algoritmo recocido simulado para el problema de la programación del tamaño del lote económico bajo el enfoque de ciclo básico. *Revista chilena de ingenieria* , 473-485.

Jianping, D., Jun, L., & Qi, L. (2011). A Hybrid Particle Swarm Algorithm for Assembly Line Balancing Problem of Type 1. *International Conference on Mechatronics and Automatation*, 1664-1669.

Jimenez, A., Lacatt, K., & Donoso, Y. (2005). Optimización multiobjetivo en transmisiones de redes. *Ingenieria y Desrrollo* , 23-33.

Kumar, N. y. (2013). Assembly Line Balancing: A Review of Developments and Trends in Approach to Industrial Application. *Global Journal of Researches in Engineering*, 28-50.

Labrada Nueva , Y., Enriquez Urbano, J., & Garcia Ojito , Y. (2014). Un algoritmo de búsqueda local iterada como solución al problema de la mochila. *Programación Matemática y Software* , 57-64.

Orejuela Cabrera, J. P., & Florez Gonzáles , A. (2019). Balanceos de lineas de produccion en la industria farmaceutica mediante programacion por metas . *INGE CUC, vol. 15 no. 1*, 109-122.

Orozco, D. L., & Jimenez Gómez, J. L. (2014). Problema de balanceo de una linea del tipo SALBP: caso de una linea de confeccion de prendas. *Logos, Ciencias y Tecnologia*, 176-196.

Peña-Orozco, D. L.-G. (2019). *Problema de balanceo de una línea del tipo SALBP: caso de una línea de confección de prendas.* Obtenido de https://doi.org/10.22335/rlct.v11i2.866.

Peña Orozco, D. L., Neira García, Á. M., & Ruiz Grisales, R. A. (2016). Aplicacion de tecnicas de balanceo de linea para equilibar las cargas de trabajo en el area de almacenaje de una bodega de almacenamiento. *Scientia et Technica Año Año XXI, Vol. 21, No. 3,*.

Raquel Murillo Garcia, F. P.-L. (06 de 2018). *eumed*. Obtenido de https://www.eumed.net/rev/oel/2018/06/ensamble-balanceo-productividad.html

Restrepo, J. H., Medina V, P. D., & Cruz T, E. A. (2006). Balanceo de un modulo de confección utilizando el algoritmo de Helgeson y Birnie: Un caso de estudio. *Ciencia y técnica, vol. XII, núm. 32*, 325-330.

Rastrepo, J. H., Medina V, P. D., & Cruz T, E. A. (2018). PROBLEMAS DE BALANCEO DE LÍNEA SALBP-1 Y SALBP-2: UN CASO DE ESTUDIO. *Scientia et Technica Año XIV, No 40. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701*, 40.

Rodriguez Alvarado , L. W., Loyo Quijada, J., Lopez Ontiveros, M., & Ávila Soler , E. (2021). Caso de estudio d emejoramiento de indicadores clave en un proceso de ensamble con la herramienta de balanceo de linea. *Ingenieria Industrial 1*.

Roshani, A., & Giglio, D. (2020). A Tabu Search Algorithm for the Cost-Oriented Multi-Manned Assembly Line Balancing Problem. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, 189-202.

Sato-Michels, A. T.-L. (2020). An exact method with decomposition techniques and combinatorial Benders' cuts for the type-2 multi-manned assembly line balancing problem. *Operations Research Perspectives*, 1-16.

Talbot, B. y. (1984). An integer programming algorithm with network cuts for solving the assembly line balancing problem. *Management Science*, 85-99.

Tamayo Vera , D., Bouza Allende , G., & Bolufe Rohler , A. (2016). Algoritmos Heuristicos para la solucion del problema lineal con restricciones de equilibrio. *Revista internacional de Gestion del conocimiento y tecnologia*.

Wilches Visbal, J. H., & Martins da Costa, A. (2019). Algoritmo de recocido simulado generalizado para Matlab. *Ingenieria y Ciencia*, 117-140.

Yazdanparast, V. y. (2011). «Multi-manned production Lines with labor Concentration. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 839-846.

Zamzam, N. y. (2021). Time and Space Multi-Manned Assembly Line Balancing Problem Using Genetic Algorithm. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 733-749.