

Caso de estudio del mejoramiento de indicadores clave en un proceso de ensamble con la herramienta de balanceo de línea

Dra. Lisaura Walkiria Rodríguez Alvarado¹, Ing. Jesús Loyo Quijada², Dr. Miguel Ángel López Ontiveros³, Dr. Enrique Ávila Soler⁴

Resumen: En el presente trabajo se expone la aplicación de las técnicas de balanceo, método estadístico y método gráfico, para mejorar los indicadores clave del proceso de ensamble de un ventilador de mano. Primeramente, se calculó el porcentaje de aprendizaje de los operadores, posteriormente, se evaluaron las condiciones del operador para establecer el ritmo de trabajo determinado por el tiempo normal, y finalmente, se asignaron los suplementos correspondientes para obtener el tiempo estándar del proceso. A partir de ahí, se determinó el número de operadores y se propuso una distribución de operaciones (metodología de balanceo). Los resultados obtenidos se evaluaron mediante una simulación vivencial derivado de una actividad didáctica desarrollada con alumnos de ingeniería industrial. La implementación de las técnicas de balanceo permitió mejorar el tiempo de lote un 29 %, el tiempo de ciclo un 37 % y el índice de producción un 42 % y, mediante la simulación vivencial, se contribuyó a la comprensión de la adaptabilidad de ambas técnicas de balanceo de acuerdo con las características del proceso y las restricciones del mismo. Este caso de estudio permitió establecer una secuencia metodológica para la implementación de las herramientas de balanceo de línea, analizando ventajas y desventajas.

Palabras clave: Balanceo de línea, indicadores, proceso, mejora.

Introducción

La productividad en un proceso productivo es uno de los factores claves para su competitividad y se basa en el aprovechamiento óptimo de recursos que son utilizados en el proceso. Hernández y autores (2019) establecen que, cuando se utilizan objetivos SMART (Specific, específico; Measurable, medible; Achievable, alcanzable; Relevant, relevante; Timely, temporal) y metas claras, el desempeño y el compromiso del personal mejoran significativamente, y esto se logra a través del monitoreo de indicadores claves. Las técnicas de balanceo de línea se enfocan en el diseño de estos recursos, minimizando el tiempo ocioso y ajustando las estaciones de trabajo y operadores al tiempo de ciclo requerido (Thi et al, 2016).

Es necesario evaluar las mejoras obtenidas, una vez implementado el balanceo de línea, y una de las formas más utilizadas es por medio de evaluación de indicadores claves del proceso. Grzechca (2014) analiza algunos métodos de balanceo de línea, enfocado a la reducción del número de estaciones de trabajo en diferentes configuraciones (paralelo y configuración en U) con el indicador de productividad como parámetro de evaluación; él determinó que el principal problema está relacionado con el flujo de operaciones y utilización de las estaciones. Por otro lado, Bung, Ezutah y Zuliani (2018) sugieren que la decisión final en la evaluación de desempeño de las técnicas de balanceo debería ser establecida mediante una comparación de costos y gastos (incluyendo materiales). Mientras, Grzechca y Foulds (2015) evaluaron que la división de tareas, cuando es apropiado y las características del proceso lo permiten, tiende a mejorar el desempeño de la línea de ensamble.

Se han realizado diferentes contribuciones en torno al balanceo de línea. Miño y autores (2019) lograron establecer el balanceo de línea y la correspondiente asignación de trabajo con un total 10 personas, considerando operaciones sincrónicamente planificadas en el proceso de ensamble de autos. Tejal y autores (2015) analizaron un caso de estudio en un proceso de ensamble en donde, logra establecer un equilibrio entre el balance de la carga de trabajo de los operadores y la estabilidad de la estación de trabajo. Mohammad, Abu y Farhad (2019) establecen un análisis de balanceo de línea por el método de trabajo compartido, dando como resultado una mayor eficiencia de la línea y eficiencia del trabajo al mismo tiempo. Shao y autores (2020) establecen que uno de los mayores problemas que se presentan es la asignación del buffer (conocido también como inventario de seguridad) a la línea ya balanceada, esto debido a que generalmente estas dos consideraciones se analizan por separado; ellos proponen que la solución está en

¹ La Dra. Lisaura Walkiria Rodríguez Alvarado es profesora investigadora de la Universidad Autónoma Metropolitana, de la Ciudad de México, Unidad Azcapotzalco lwra@azc.uam.mx (autor correspondiente)

² El Ing. Jesús Loyo Quijada es profesor investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana, de la Ciudad de México, Unidad Azcapotzalco lqj@azc.uam.mx

³ El Dr. Miguel Ángel López Ontiveros es coordinador de la Licenciatura de ingeniería industrial de la Universidad Autónoma Metropolitana, de la Ciudad de México, Unidad Azcapotzalco mlopez@azc.uam.mx

⁴ El Dr. Enrique Ávila Soler es profesor investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana, de la Ciudad de México, Unidad Azcapotzalco eas@azc.uam.mx

aplicar un enfoque de optimización multiobjetivo, tomando en cuenta la configuración de la línea, máquinas, herramientas y accesorios.

Por último, 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. Esto fue lo que desarrollaron Yilmazlar y autores (2020): al simular los saldos de una línea a partir de la propuesta de balanceo, demostraron que la aleatoriedad de la línea afecta la cantidad de producción diaria.

En el presente documento, se presenta un caso de estudio de una línea de ensamble de un ventilador de mano, desarrollado con alumnos de ingeniería industrial; se implementan dos técnicas de balanceo, y se evalúa su desempeño con el análisis de indicadores claves del proceso, como la eficiencia, tiempo de producción, tiempo de ciclo e índice de producción.

Descripción del Método

La implementación de la propuesta de balanceo de línea por el método estadístico y gráfico se desarrolló a partir de la experiencia vivencial de una actividad didáctica realizada en conjunto con alumnos de Ingeniería Industrial. El desarrollo de estas propuestas se llevó a cabo en un proceso de ensamble de un ventilador de mano, el cual está conformado por 13 componentes. En la Fig. 1 se presenta el producto terminado y los componentes que conforman su proceso de ensamble.

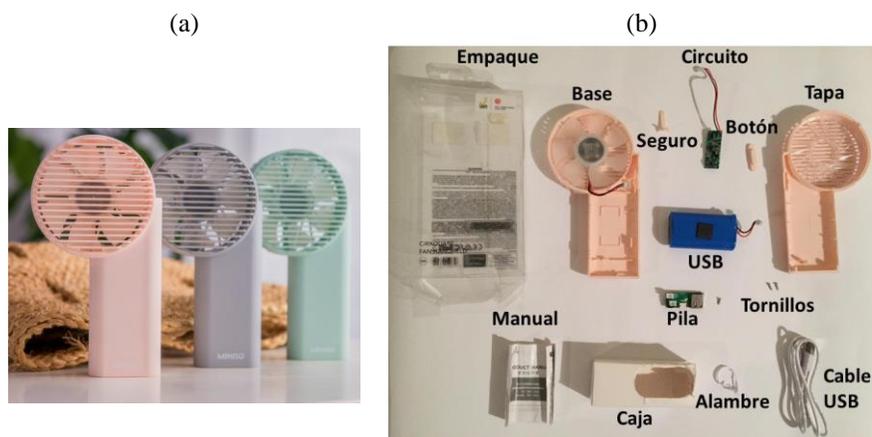


Figura 1. (a) producto terminado y (b) componentes que conforman el ensamble del ventilador

Para el desarrollo de la actividad didáctica y elaboración de propuestas de balanceo, se conformó un equipo de 6 integrantes, en el que, inicialmente, se debería asignar roles de operadores y analistas; Para hacer esta selección, se realizó una evaluación del porcentaje de aprendizaje. Los operadores son los encargados de realizar el proceso de ensamble y los analistas son responsables del registro de información del proceso.

Una vez realizada esta asignación, se procedió a calcular el tiempo estándar de cada una de las estaciones de trabajo en donde son responsables los operadores; esto permite contar con un escenario actual para desarrollar las propuestas de mejora a partir de la técnica de balanceo. La actividad didáctica se desarrolló en tres etapas, las cuales se explican a continuación.

1. Estudio de la medición del proceso

En esta primera etapa, se determinó el porcentaje de aprendizaje de los operadores encargados de realizar el proceso de ensamble y además se realizó el registro de la información del tiempo del proceso de ensamble, con el objetivo de calcular el tiempo estándar. Para esto, se parte de la propuesta inicial de realizar el ensamble en 5 estaciones de trabajo, con un operador en cada una de ellas (por lo tanto, se cuenta con un solo analista). En la Fig. 2 se puede observar la distribución inicial considerada.

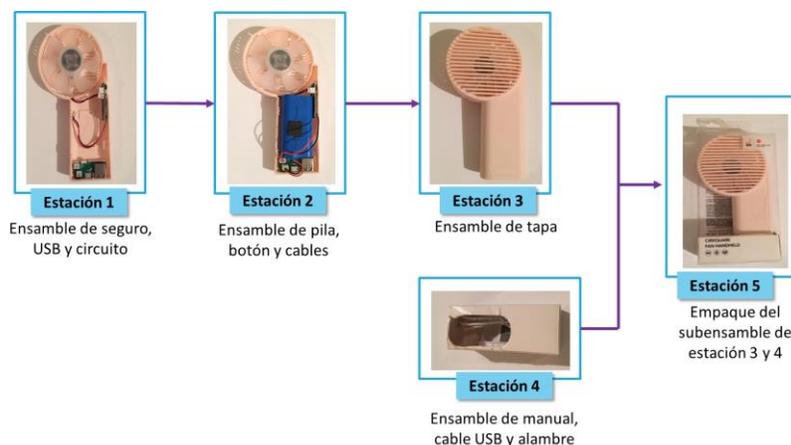


Figura 2. Distribución inicial de la línea de ensamble

El porcentaje de aprendizaje permite establecer si un determinado operador cuenta con las habilidades necesarias para desarrollar un determinado proceso y poder establecer un tiempo estándar. Para determinar el porcentaje de aprendizaje de los 5 operadores, se realizaron 20 ciclos de ensamble de manera continua con un breve descanso de 5 minutos antes de iniciar el ensamble número 11. En cada ciclo realizado, se registran los tiempos promedios del proceso cada 10 ciclos, prestando atención a situaciones que ocasionen alta variabilidad en los tiempos, en la Fig. 3, se presenta la gráfica de la curva de aprendizaje (a), así como los porcentajes de aprendizaje obtenidos por operador (b).

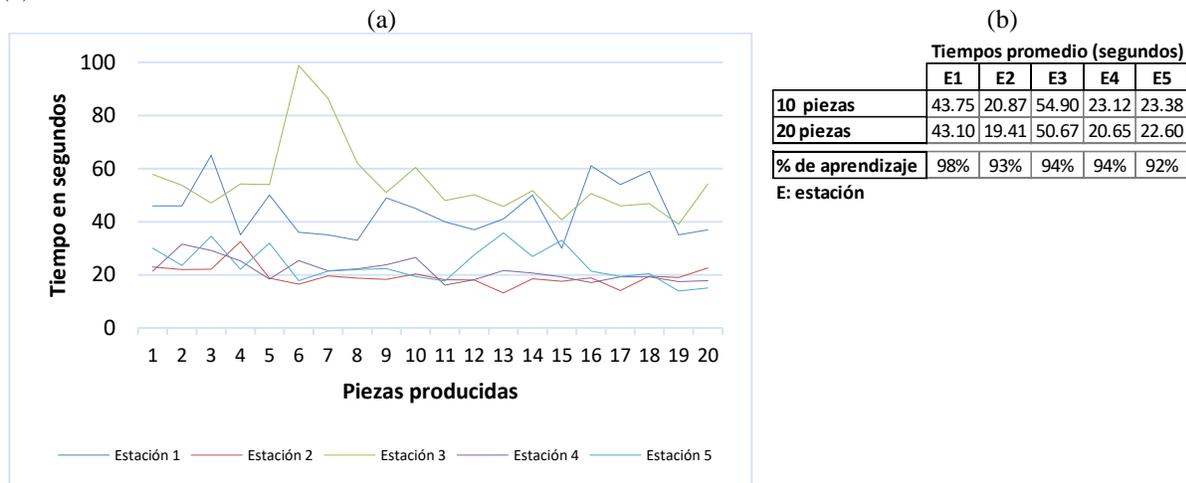


Figura 3: (a) curva de aprendizaje y (b) porcentajes de aprendizaje

Al observar la gráfica de la Fig. 3 (a) es notorio que la tendencia de los tiempos en relación a las piezas producidas tiene un comportamiento descendente; esto se puede comprobar al analizar los tiempos promedios de cada estación en los intervalos correspondientes a cada 10 piezas producidas, por ejemplo, en la estación 1, pasa de 43.75 segundos a 43.10, lo cual implica una reducción del 1.51%, el porcentaje de reducción en el tiempo, responde al porcentaje de aprendizaje de cada operador.

En la Fig. 3 (b), los porcentajes superiores al 90% en cada uno de los operadores pone en evidencia la habilidad y destreza de cada uno de ellos, y, además se puede establecer que, el tiempo del proceso está estable, es decir, no se presentan variaciones considerables a medida que se realiza el ensamble. De esta manera, por ejemplo, el operador de la estación 1 al contar con un porcentaje de aprendizaje del 98%, implica que al duplicar su producción hasta las 40 unidades, se espera que el tiempo de ensamble baje a 42,2 segundos; este fundamento está basado en la teoría que establece la curva de aprendizaje (Krajewski, Ritzman & Malhotra, 2013).

Para realizar el cálculo del tiempo estándar, se realizó el registro de la información de los tiempos de ensamble por estación de 40 ciclos, con estos datos se determinó el tiempo medio observado (TMO), el cual corresponde al valor promedio de los datos registrados. Posteriormente, los analistas asignan una calificación al desempeño de los tiempos

promedios mediante el sistema de calificación de Westinghouse, en donde se toma en cuenta: la habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia del operador, obteniendo así el tiempo normal (TN).

Se imparte mencionar que los porcentajes de asignaciones de estos factores están muy relacionados con el porcentaje de aprendizaje de cada operador, pues es en esta medida en que la habilidad y esfuerzo fueron considerados como muy buenos. Una vez obtenido el TN, el analista agrega los suplementos correspondientes por porcentajes para contrarrestar las demoras ocasionadas por la fatiga durante la jornada laboral establecida. Dentro de los suplementos fijos, se consideran la fatiga y necesidades personales, mientras que para los suplementos variables, se toma en consideración la monotonía, complejidad del proceso, y precisión del mismo. Estos suplementos oscilan entre un 12 y un 24%, dependiendo de las características que se presentan; finalmente, se obtiene el tiempo estándar (TE) de cada una de las estaciones. En la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos del cálculo del tiempo estándar.

Concepto	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Estación 5
TMO (segundos)	38.12	16.86	50.32	18.45	17.81
% Factor de calificación	13.88	7.95	8.41	14.31	18.02
TN (segundos)	43.41	18.2	54.55	21.09	21.02
% Suplemento	24.26	18.02	21.43	14.41	12.94
TE (segundos)	53.94	21.48	66.24	24.13	23.74

Tabla 1. Tiempo estándar por estación

Esto significa que, la estación 1 es la estación cuello de botella, ya que cuenta con el tiempo de ensamble más alto (53.94 segundos), lo cual indica que ese el ritmo de producción de la línea de ensamble.

2. Propuestas de mejora

Las propuestas de mejoras están enfocadas en realizar una asignación balanceadas de tareas a cada una de las estaciones, en el que se realice el proceso de ensamble con el menor tiempo ocioso posible y que no se genere acumulación de inventario. Para esto, en esta segunda etapa se propone implementar el método de balanceo de línea por el método estadístico y el método gráfico.

El método estadístico establece un número real de operadores por estación con base a la distribución original del ensamble, logrando establecer un balance en tiempos tomando de referencia la tardanza mayor determinada por la estación cuello de botella de la línea de ensamble. Mientras que en el método gráfico, se modifica la cantidad de operaciones o elementos asignada por estación, tomando como restricción la procedencia de cada una de las operaciones, así como sus características de complejidad.

3. Simulación vivencial

En esta última etapa, se desarrolló una simulación: la simulación didáctica consiste en realizar el proceso de ensamble del ventilador sobre una banda transportadora, cuya velocidad está determinada por el tiempo ciclo del proceso. Alrededor de la banda transportadora, se establecen las estaciones de trabajo, de acuerdo con la distribución determinada en cada método de balanceo desarrollado. La banda opera bajo el mando de un Controlador Lógico Programable (PLC), cada vez que se ha completado el tiempo ciclo del proceso, el motor de la banda se activa automáticamente y permanece en ese estado durante el tiempo de recorrido, especificado de acuerdo a la distancia entre estaciones y requerimientos de ensamble.

Durante la simulación, los operadores realizan el ensamble, mientras que los analistas monitorean los indicadores claves del proceso.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos una vez implementadas las mejoras establecidas a partir de la metodología por el método estadístico y gráfico, así como la simulación vivencial.

Balanceo de línea por el método estadístico

El objetivo del método estadístico es determinar la asignación de recursos, número de operadores, necesarios en cada estación de trabajo; para esto, primeramente, es necesario calcular el índice de producción (IP) de la línea de ensamble con base al tiempo estándar por pieza de cada estación de trabajo, este índice permite conocer cuántas piezas se procesan por minuto. Tomando en cuenta el tiempo estándar de la tabla 1 y la distribución inicial de la línea en Fig.

2, se puede determinar que, cada 66.24 segundos se obtiene una pieza, por lo que, en una hora, se puede lograr una producción 54 ventiladores. En ecuación 1 se presenta el cálculo del IP bajo estas consideraciones.

$$IP = \frac{\text{Producción por día o Demanda al día}}{\text{Tiempo de producción disponible por día}} = \frac{54 \text{ unidades}}{60 \text{ minutos}} = 0.90 \frac{\text{unidades}}{\text{minuto}} \quad (1)$$

$$= 0.015 \frac{\text{unidades}}{\text{segundo}}$$

Con el valor de IP previamente calculado, es posible determinar el número de operadores teóricos (NOT) y reales; para esto, es necesario considerar una eficiencia planeada y en este caso, se determinó que la eficiencia debe ser superior al 85 %. El cálculo del número de operadores necesarios para la primera estación se presenta en Ecuación 2 y los cálculos para las demás estaciones se presentan en la tabla 2.

$$NOT = \frac{IP \times \text{Tiempo estándar de la estación}}{\text{Eficiencia planeada}} = \frac{0.015 \frac{\text{unidades}}{\text{segundo}} \times 53.94 \text{ segundos}}{0.85} \quad (2)$$

$$= 0.95 \text{ operador}$$

Estación	Tiempo estándar (seg)	NOT	NOR	Tardanza (seg)	Tiempo asignado balanceado (seg)
1	53.94	0.95	1	53.94	66.24
2	21.48	0.38	1	21.48	66.24
3	66.24	1.17	1	66.24	66.24
4	24.13	0.55	1	24.13	66.24
5	23.74	0.42	1	23.74	66.24
Total			5	196.53	331.20

Tabla 2. Número de operadores por estación

Al realizar el cálculo de número de operadores teóricos y redondear dicho valor para obtener el número de operadores reales (NOR), se determina que, es necesario considerar un operador en cada estación de trabajo, sin embargo, en la estación 3, el cálculo sugiere que se consideren 2 operadores, pero, esta consideración no puede ser tomada en cuenta, ya que, al evaluar las actividades que se realizan en dicha estación se determina que no son divisibles, con el objetivo de contar dos operadores trabajando en paralelo o de manera continua. Por lo tanto, el tiempo ciclo de esa estación se mantiene en 66.24 segundos. El tiempo de la tardanza corresponde al tiempo de cada estación una vez evaluado el requerimiento de operadores por estación; en este caso, los tiempos no presentan variación. Y, por último, el tiempo asignado balanceado corresponde al tiempo de la estación cuello de botella y la que establece el ritmo de producción. Con estos valores, es posible calcular la eficiencia real de la línea, la cual queda establecida por la Ecuación 3.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\sum \text{tardanza}}{\sum \text{Tiempo asignado balanceado}} = \frac{196.53}{331.20} = 59.34\% \quad (3)$$

El cálculo de la eficiencia indica que, no hay una adecuada distribución de recursos, la línea de ensamble no está balanceada por lo que, se genera mucho tiempo ocioso entre las estaciones y acumulación de inventario.

Simulación vivencial- balanceo de línea del método estadístico.

Para realizar la simulación, se dispone sobre la banda transportadora la distribución de las estaciones considerando un operador por estación. El PLC es programado de acuerdo con el tiempo asignado balanceado, correspondiente a 66.24 segundos. En la Fig. 4 se presenta la distribución considerada en la banda transportadora.



Figura 4. Distribución de la línea de ensamble- método estadístico

Una vez realizado el ensamble de un lote de 10 ventiladores y monitoreado los indicadores del proceso, se verifica que el tiempo de ciclo corresponde a 66.24 segundos y que se genera acumulación de inventario entre estación 2 y 3, así mismo hay tiempo ocioso entre estación 3, 4 y 5. A partir de este escenario se establecen las siguientes propuestas de mejora

- ✓ Reajustar operaciones para reducir el cuello de botella
- ✓ Unir dos estaciones de trabajo para disminuir tiempo ocioso
- ✓ Reajustar los tiempos de estaciones 3 y 4 reevaluando los suplementos.

Balaneo de línea por el método gráfico

El objetivo del método gráfico consiste en reasignar operaciones a cada estación de trabajo. Primeramente, es necesario calcular el número de estaciones teóricas, a partir del tiempo ciclo y el tiempo de producción de la primera pieza de la distribución anterior, esto se presenta en Ecuación 4.

$$\text{Número de estaciones teóricas} = \frac{\text{Tiempo de la pieza 1}}{\text{Tiempo ciclo}} = \frac{231 \text{ segundos}}{66.24 \text{ segundos}} = 3.48 \quad (4)$$

Esto indica que la reasignación de actividades se puede lograr con 4 estaciones, la nueva distribución se presenta en la Fig. 5.



Figura 5. Distribución de la línea de ensamble, considerada en el método gráfico

Como se puede observar en la Fig. 5, se ha considerado una distribución totalmente lineal, en donde, la estación absorbe una de las actividades de estación 3, con el objetivo de disminuir su tiempo estándar. La estación 4 es encargada de realizar el ensamble que originalmente realizaba, en conjunto con la estación 5. Debido a que, cada operador cuenta con un porcentaje de aprendizaje superior al 90%, no representó ningún problema, realizar la reasignación de actividades.

Al realizar la asignación se tomó en cuenta no afectar el predecesor de cada actividad, así como tratar de establecer un tiempo equilibrado entre cada estación. Tomando en cuenta estas consideraciones, el nuevo tiempo ciclo corresponde a 49.49 segundos. Nuevamente es necesario realizar el cálculo de eficiencia para evaluar el desempeño del proceso de ensamble en la línea. Tomando en cuenta los nuevos tiempos de la nueva distribución, se puede

determinar que, la primera pieza se obtiene en el segundo 171.5 (49.49 + 29.47 + 49.44 + 43.10). El cálculo de la eficiencia se muestra en Ecuación 5

$$\begin{aligned} \text{Eficiencia de la línea} &= \frac{\text{Tiempo de la pieza 1}}{\text{número de estaciones} \times \text{Tiempo ciclo}} = \frac{171.5}{4 \times 49.49} \quad (5) \\ &= 86.63\% \end{aligned}$$

Comparado con el método anterior hubo una mejora del 32% en el indicador de eficiencia, lo que significa que, las operaciones han sido asignadas de una mejor manera en la línea de ensamble.

Simulación vivencial- balanceo de línea del método estadístico.

Para realizar la simulación, nuevamente se dispone sobre la banda transportadora, la distribución de estaciones en serie, el PLC es programado de acuerdo con el nuevo tiempo de ciclo, determinado a partir de la nueva distribución el cual corresponde a 49.44 segundos. En la Fig. 6 se presenta la distribución considerada en la banda transportadora.



Figura 6. Distribución de la línea de ensamble- método gráfico

Análisis de indicadores claves del proceso

Una vez realizada ambas simulaciones se procedió a evaluar los resultados obtenidos de los indicadores claves del proceso, los datos se presentan en la tabla 3.

Indicador	Método estadístico	Método gráfico	% de mejora
Tiempo de lote	794 seg	557 seg	29.85%
Tiempo de ciclo	66.24 seg	49.49 seg	33.85%
Índice de producción	0.90 pz/min	1.074 pz/min	16.20%
Eficiencia	59.34	86.63	32%

Tabla 3. Tabla comparativa de los indicadores claves del proceso

Es evidente que al considerar las propuestas de mejora al pasar del método estadístico al método gráfico, los indicadores mejoraron considerablemente. El tiempo de lote para completar los 10 ventiladores tuvo una reducción de 237 segundos, lo que significó una reducción de casi el 30%; esto se debe principalmente a que se estableció un nuevo tiempo de ciclo del proceso (49.49). Esto impacta directamente en el índice de producción, ya que, en el método gráfico, prácticamente se puede completar el ensamble de una pieza por minuto, a diferencia del método estadístico en donde no es posible bajo estas consideraciones. Por último, la eficiencia mejoró considerablemente, específicamente un 32%, lo que significa que, a pesar de que se están utilizando menos recursos en el método gráfico, las actividades de los operadores fueron mejor asignadas, logrando la reducción de tiempo ocioso.

Conclusiones

La implementación de las técnicas de balanceo pone en evidencia que es posible trabajar a un mismo tiempo todas las estaciones de trabajo, disminuir el tiempo ocioso entre estaciones, así como la acumulación de inventario. La comparación en la aplicación de ambos métodos de balanceo en la misma línea de ensamble muestra cómo la eficiencia de la misma línea puede mejorar con una correcta asignación de tareas en cada estación. Cabe mencionar que el porcentaje de aprendizaje de los operarios en cada estación es determinante para lograr un eficiente balanceo de línea.

Con el desarrollo de la actividad didáctica, se logró que los participantes comprendieran la aplicación de dos técnicas de balanceo, en donde el balanceo por método estadístico es agregar o suprimir trabajadores de la línea, respetando el diseño de la línea de ensamble; mientras que, el método gráfico de balanceo permite rediseñar la línea de ensamble para realizar el balanceo.

La importancia de contar con indicadores medibles para comparar las situaciones, establecer las mejoras y las dificultades que se presentan asociadas a las características del proceso, como es, la división homogénea de actividades entre estaciones, por otro lado, se logró que se comprendiera la importancia de medir y evaluar el proceso, ya que esto permitió establecer el porcentaje de mejora al pasar del método de balanceo estadístico al método gráfico. Esto permite afirmar que, la experiencia vivencial, permite interactuar con diferentes situaciones que se pueden presentar en un caso real, en el que es necesario poner en práctica los conocimientos adquiridos, así como trabajo en equipo.

Algo importante a resaltar en las simulaciones vivenciales, es que son los propios alumnos o trabajadores los que generan los cambios y se involucran en ellos para alcanzar las mejoras de sus procesos productivos. Al hacer partícipes de la solución a los operadores o alumnos de la línea de producción, éstos se verán motivados a llevar a cabo sus ideas y de generar cambios en sus líneas. Se logra que los participantes entiendan los términos o vocabulario que se manejan en una línea de producción.

Limitaciones

Algo importante que se tiene que mencionar es la manipulación y flexibilidad del producto para su ensamble: hay piezas del producto que no se pueden separar o piezas que forzosamente tienen que ser ensambladas en una estación. Esto es y seguirá siendo una limitante para lograr mejores balanceos y por ende mejorar la eficiencia.

Por otro lado, hay empresas que no tienen los recursos para ser simulaciones y probar mejoras en sus líneas de ensamble, siempre va haber limitantes de recurso materiales. La simulación presentada en este documento se realizó en un laboratorio de ingeniería industrial y se contó una banda transportadora con controlador PLC.

Por último, esta investigación se considera a partir de que es un caso de estudio académico en donde se desconocen variables cualitativas y cuantitativas del proceso a ensamblar, tales como: la fatiga, experiencia, manipulación del ensamble, manejo de herramientas, operarios, número de tareas y división de trabajo. Al replicar este tipo de estudio, se aplicaría la misma metodología, pero lo que sería diferente son los propósitos y los resultados para lo que se pretende mejorar.

Recomendaciones

Es importante recalcar que la aplicación de estas técnicas de balanceo línea son un buen acercamiento para cuando se crean o diseñan líneas de producción, ya que se pueden emplear como un primer acercamiento del diseño. Se recomienda siempre empezar por un balanceo gráfico cuando ya se tiene una propuesta inicial de la línea para establecer una mejor distribución de tareas y de los operadores. Hay casos en donde se han aplicado estas técnicas dos o tres veces hasta lograr una eficiencia deseada, y bajo este contexto una pregunta relevante sería, ¿cómo mantener la eficiencia por un periodo largo de tiempo?

Finalmente, este estudio permitió analizar y mejorar un proceso ensamble. Los resultados obtenidos generan las siguientes preguntas, tales: ¿Cómo?, ¿Qué?, ¿Cuándo?, ¿Dónde? y ¿Porque? ¿se están optimizando los recursos, la calidad, tiempos de producción, experiencia, recurso humanos y mejoras en proceso? El mundo real puede tomar este caso de éxito de mejoras continua de los procesos. La parte académica deberá incentivar esta línea de investigación en un futuro, por el hecho de que la producción de una organización está vinculada a la rentabilidad económica.

Referencias

- Bung W., Ezutah U. & Zuliani Z. (2018). Redesigning of Lamp Production Assembly Line. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bandung*, Indonesia, March 6-8.
- Grzechca, W. & Foulds L.R.(2015). The Assembly Line Balancing Problem with Task Splitting: A Case Study. *IFAC-PapersOnLine* .Volume 48, Issue 3, Pages 2002-2008. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.382>
- Grzechca, W. (2014). Assembly Line Balancing Problem with Reduced Number of Workstations. *Proceedings of the 19th World Congress The International Federation of Automatic Control Cape Town*, South Africa. August 24-29, <https://doi.org/10.3182/20140824-6-ZA-1003.02530>.
- Hernández, V., Kido, J., Pérez, P., y Rodríguez, N. (2019). Definición del KPi Porcentaje de sacos con defecto y Takt Time. *Revista de Operaciones Tecnológicas*. Septiembre, Vol.3 No.10 21-29
- Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2013). *Administración de operaciones. Procesos y cadena de suministro*. México: Pearson Educación.
- Miño, G., Moyano, J. y Santillán, C. (2019). Tiempos estándar para balanceo de línea en área soldadura del automóvil modelo cuatro. *Ingeniería Industrial*. versión On-line ISSN 1815-5936. Ing. Ind. vol.40 no.2 La Habana.

- Mohammad, M. B., Abu, M. & Farhad, H. (2019). Productivity Improvement through Line Balancing - A Case Study in an Apparel Industry. *GSJ*: Volume 7, Issue 2, February, Online: ISSN 2320-9186
- Shao, H., Moroni, G., Li, A., Liu, X., & Xu, L. (2020). Simultaneously solving the transfer line balancing and buffer allocation problems with a multi-objective approach. *Journal of Manufacturing Systems* Volume 57, Pages 254-273
- Tejal, D. G. , Subhan, S. B. & Mihir H. K. (2015). A case study on operator workload balancing for assembly stations. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*. Ghongadi, 4(11)
- Thi Lam N, Minh Toi L, Thanh Tuyen V& Ngoc Hien D. (2016). Lean line balancing for an electronics assembly line. *Procedia CIRP*; (40): 437-442
- Yilmazlar, O., Jeyes, A., Fiore, A., Patel, A., Spence, Ch., Wentzky., Ch., Zero, N., Kurz, M., Summers, J.& Taaffe, K. (2020). A Case Study in Line Balancing and Simulation. *Procedia Manufacturing*. Volume 48, Pages 71-81

Agradecimientos

Se hace un especial agradecimiento a: Carmona González Jonathan Sagith, Castellanos Ruiz Monserrat, Cuevas Lagunas Tania Lizbeth, Hernández Hernández Carlos Eduardo, Ramírez Rios Mario Ángel y Sandoval Solís Ricardo Fabián, ya que, sin su apoyo y contribución, no hubiese sido posible la realización de este artículo. Participaron como analistas y operadores durante todo el proceso de la simulación vivencial, así como en el proceso de recopilación de la información.