

Mejora de un proceso de ensamble mediante balanceo de línea.
Simulación didáctica

Improvement of a process indicators through line balance.
Didactic simulation

Cinthia Fernández Corona¹, Dafne Anaid Chávez Martínez², Jonathan Saúl
Mendoza Ramos³, Lisaura Walkiria Rodríguez Alvarado⁴, Jesús Loyo Quijada⁵

^{1, 2, 3} Estudiantes de Ingeniería Industrial, Departamento de Sistemas. UAM-
Azcapotzalco

^{4,5} Profesor investigador, Departamento de Sistemas. UAM-Azcapotzalco

¹ Correo electrónico: al2133001235@correo.azc.uam.mx:

² Correo electrónico: al2123069207@correo.azc.uam.mx:

³ Correo electrónico: al2112043199@alumnos.azc.uam.mx

⁴ Correo electrónico: lwra@correo.azc.uam.mx

⁵ Correo electrónico: lqj@correo.azc.uam.mx

Recibido: 18 de febrero de 2016

Aceptado: 19 de junio de 2018

Resumen

En el presente artículo se muestra la secuencia metodológica para la aplicación de dos técnicas de balanceo mediante el desarrollo de una simulación didáctica. La secuencia metodológica llevada a cabo fue mediante la aplicación de las técnicas de estudio de la medición del trabajo, en donde se selecciona y analiza el objeto de estudio para aplicar técnicas de mejora continua como es el balanceo de línea, los resultados obtenidos se evalúan mediante una simulación vivencial. Esta simulación didáctica se lleva a cabo en tres fases, en cada una de ellas se evalúa el desempeño del proceso de ensamble mediante el monitoreo de indicadores claves, como es el tiempo de entrega, eficiencia, productividad, tiempo de demoras, inventario en proceso y tiempo de ciclo. Al concluir las simulaciones y comparar los resultados obtenidos los alumnos llegan a comprender las ventajas, desventajas y sobre todo la adaptabilidad de éstos métodos de balanceo de acuerdo con las características del proceso y las restricciones del mismo.

Palabras clave: balanceo de línea, indicadores, simulación didáctica

Abstract

In this paper the methodological sequence for the application of two balance techniques through the development of a didactic simulation is shown. The didactic simulation is carried out in three stages. In each of them, the performance of the assembly process by monitoring key indicators such as time of delivery, efficiency, productivity, time of delay, in process inventory and cycle time is evaluated. After completing the simulations and comparing the results,

the students understand the advantages, disadvantages and above all the adaptability of the balance methods according to the characteristics of the process and its restrictions.

Keywords: line balance, indicators, didactic simulation

Licencia Creative Commons



Introducción

Actualmente el nivel competitivo que deben mantener las organizaciones es cada vez más exigente para dar respuesta a los requerimientos del cliente. La metodología de balanceo de línea puede ser analizado en dos enfoques: obtener el balance óptimo que minimiza el número de estaciones de trabajo u operadores o la minimización del tiempo ciclo de cada estación [1]. El proceso de balanceo diseña y evalúa la optimización del uso de recursos, eliminar o reducir desperdicios e incrementar la productividad [2].

Diferentes contribuciones se han realizado de este tema tanto en el entorno industrial como académico. Pérez Olgún explica como logran reducir las distancias entre estaciones de trabajo lo que permitió aminorar el movimiento de materia prima y de subproductos, incrementando el nivel de eficiencia a un 78.22% [3]. Por otro lado, [4] logran una reducción en los tiempos de operación de las estaciones de trabajo, aumentando el volumen de piezas producidas de 300 a 471 piezas. Analizando el contexto industrial, es importante considerar las características del proceso, operadores, maquinaria y el tipo de producto. Una situación similar a este contexto, fue analizada por [5] quienes aprovecharon la divisibilidad de las tareas para lograr una mejor asignación de operaciones a las estaciones de trabajo.

En este trabajo se simula la implementación del método de balanceo del proceso de ensamble de un cartucho de impresora láser modelo HP3050 como parte de una actividad didáctica desarrollada por alumnos de ingeniería industrial. El proceso de simulación se lleva a cabo considerando tres fases: método estadístico, método gráfico y por último la combinación de ambos métodos. Esta actividad permite evaluar los conocimientos adquiridos por los alumnos al enfrentar el reto de mejorar el tiempo ciclo del proceso de ensamble, asegurar un flujo continuo de producción y evitar la acumulación de inventario en proceso. Los resultados obtenidos ponen en evidencia que es posible obtener un incremento en la productividad al considerar combinar ambos métodos (estadístico y gráfico).

Descripción del método

La secuencia metodológica que se llevó a cabo en este trabajo se resume en la figura. 1 y fue mediante la aplicación de las técnicas de estudio de la medición del trabajo.



Figura 1. Secuencia metodológica llevada a cabo en el presente trabajo. Fuente: Elaboración propia.

Dentro de una de las Unidades de Enseñanza Aprendizaje (UEA) que se imparten dentro de la carrera de ingeniería industrial, se encuentra un laboratorio de estudio de la medición del trabajo en el cual, los alumnos ponen en práctica los conocimientos teóricos aprendidos con el objetivo de mejorar un proceso de ensamble. En la primera etapa de esta técnica se selecciona el objeto de estudio, en este caso corresponde al proceso de ensamble del cartucho de impresora láser HP3050, (ver Fig. 2).



Figura 2. (a) Cartucho de impresora láser y (b) componentes utilizados en su proceso de ensamble. Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se registra la información para comprender el objeto de estudio (tiempo y configuración de la línea). Después de examinar y validar la información recopilada se procede a la medición, en donde se define el tiempo estándar de la operación y las técnicas de balanceo de línea, en este caso de estudio se han utilizado dos métodos, el estadístico y el gráfico. Para validar los resultados obtenidos se simula el proceso de ensamble para verificar los resultados de los indicadores claves del proceso de ensamble en cada método empleado. Por último, el proceso investigativo de este trabajo está sustentado mediante una revisión documental de las técnicas de balanceo en procesos de ensamble, en donde se procedió a analizar los resultados, proceso de implementación, restricciones de casos de estudios en los que se aplicó la metodología de balanceo de línea. El análisis permitió determinar que en pocas ocasiones se ha incurrido en la combinación de ambos métodos como área de oportunidad. En figura 2 se explica a detalle las principales etapas de la secuencia metodológica.

Proceso de ensamble del cartucho de impresora láser HP3050

En la figura. 3 (a) se presenta el diagrama de operaciones del proceso de ensamble del cartucho de impresora y en la Fig. 2 (b) la distribución de operadores.

La estación No.1 realiza 3 operaciones, ensamblar el revelador a base ensambladora con el perno de sujeción utilizando un tiempo total de 54.04 segundos. El ensamble de la base simple en la estación No. 2, consiste de 3 operaciones utilizando un tiempo total de 47.39 segundos; estas dos estaciones trabajan de forma paralela. Posteriormente la estación No. 3 se encarga de realizar el ensamble procedente de la Estación No. 1 y 2, y en este punto se realiza una inspección del ensamble de las bases, para este proceso la estación No.3 emplea 10.56 segundos y realiza este proceso en dos operaciones.

respectivamente. El equipo debe cumplir un lote de 10 productos terminados con 100% de calidad.

A continuación se explica en figura 4 el proceso de aplicación de cada una de las técnicas de balance y cada una de las fases desarrolladas en la simulación.

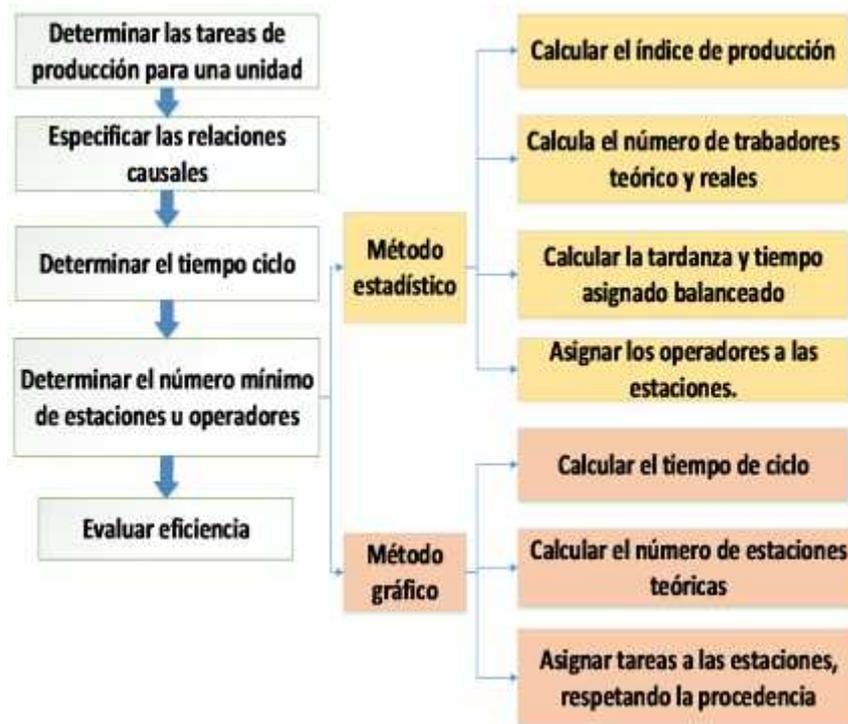


Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de aplicación de las técnicas de balanceo.
Fuente: Elaboración propia

Fase A. Balanceo de línea método estadístico

En esta primera fase, se 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. Para determinar el número de operadores 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. Posteriormente se determina el número de operadores teóricos (NOT), considerando el IP determinado anteriormente, el tiempo estándar de cada estación y una eficiencia planeada o esperada, tal y como se muestra en (1).

$$N = \frac{I_p * T_e}{E} \quad \text{e. á n} \quad \text{d l e} \quad \text{ón(T e ón)} \quad (1)$$

El número de operadores reales (NOR) consiste básicamente en un redondeo del dato obtenido en el NOT, considerando un valor por arriba del 0.25 como la condición para un operador más. Posteriormente se realiza el cálculo del tiempo

de la tardanza (Tard), este tiempo representa el tiempo promedio que tarda en salir cada producto de cada estación de trabajo, esto se presenta en (2).

$$T = \frac{T_e}{N} \quad (2)$$

Con el dato de la Tard es posible establecer el tiempo asignado balanceado (T. a. bal) de la estación de trabajo, el cual corresponde al tiempo mayor de la Tard registrado en las estaciones de trabajo. Los alumnos organizan la línea de ensamble sobre la banda transportadora para simular el proceso de ensamble del cartucho de impresora bajo esta restricción. En esta primera fase se establece un TC esperado y se evalúa la efectividad del método con la eficiencia real de la línea y el tiempo de entrega del producto terminado.

Fase B. Balanceo de línea método gráfico

En esta segunda fase 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. En este punto se determina si es necesario dividir las operaciones en actividades de menor tiempo. A partir del TC de cada estación, se replantea un nuevo TC (TC nuevo), el cual consiste en analizar si al TC de la fase A se le pueden omitir las demoras propias del proceso. Con este nuevo valor se determina el número de estaciones requeridas (NER), tal y como se plantea en (3).

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n T_{opi}}{T_n}, \text{ donde } i \text{ es el número de } \quad (3)$$

Posteriormente se procede a realizar la asignación de las diferentes operaciones a las estaciones de trabajo determinadas anteriormente tomando como restricción el TC nuevo y su procedencia. Nuevamente esta propuesta es evaluada mediante la simulación del proceso de ensamble en las bandas transportadoras. Esta segunda fase permitió determinar si la redistribución de las operaciones por estación fue la adecuada y comprobar que ambos métodos por separado ofrecen una solución adecuada.

Fase C. Combinación de ambos métodos estadístico y gráfico

Una vez analizada la aplicabilidad de ambos métodos de balanceo, los alumnos determinan cuales son las áreas de oportunidad en cada uno de los métodos aplicados. Para esto se toma en cuenta las ventajas y desventajas identificadas en cada simulación en función a la complejidad y restricciones del proceso de ensamble. Una vez analizados e implementados los cambios, se lleva a cabo una tercera simulación del proceso de ensamble en la banda transportadora.

Resultados

Tiempo estándar

Con el registro de la información de los tiempos de ensamble por estación se determinó el tiempo estándar de cada estación.

En la Tabla 1 se presenta el resumen de los datos obtenidos para el tiempo promedio, tiempo normal (TNO) y tiempo estándar para cada estación de trabajo (TE). Se puede observar que la operación 1 de la primera estación presenta el tiempo promedio más alto, esto corresponde al tiempo de colocar y atornillar cuchilla grande en base agarradera, es importante mencionar que los tornillos presentan cierto grado de complejidad en su ensamble. Por otro lado, la operación 1 de la tercera estación presenta el menor tiempo promedio el cual consiste en ensamblar la tapa simple con cilindro magnético.

		Estación 1			Estación 2			Estación 3		Estación 4	
Concepto		O1	O2	O3	O1	O2	O3	O1	O2	O1	O2
Segundos	TNO	32.1	4.8	6.3	18.5	5.8	14.3	2.3	6.4	29.1	23.0
	FC	1.06	1.1	1.0	1.02	1.0	1.14	1.0	1.0	1.13	1.11
	TH	34.0	5.8	6.3	18.8	6.0	16.3	2.5	6.6	32.8	25.5
	SUP	0.17			0.15			0.15		0.27	
	TE _(elemento)	39.8	6.7	7.4	21.7	6.9	18.7	2.8	7.6	41.7	32.4
	TE _(estación)	54.05			47.39			10.56		74.24	

O: Operación

Tabla 1: Tiempo promedio, tiempo normal y tiempo estándar por estación de trabajo. Fuente: Elaboración propia

La asignación de los factores de calificación a cada operación de cada operador en el proceso de ensamble, indica que la operación 2 de la estación 1 presenta el porcentaje más alto correspondiente a 1.19

Las condiciones de trabajo fueron clasificadas como buenas (0.02) para todos los casos ya que todos los operadores se encontraban en el mismo entorno. En los demás casos, los factores de calificación no presentan un valor tan alto, por lo que indica que la valoración de cada característica está entre una calificación buena, promedio o aceptable. En relación a los suplementos asignados a cada operador con el objetivo de compensar los retrasos, demoras y elementos contingentes se consideraron los siguientes suplementos variables: uso de fuerza 0-1%, concentración y trabajo de precisión 2%, ruido

2%, tensión mental 1%, los suplementos fijos se consideraron 9% para el caso de los operadores hombres y 11% para operadoras mujeres. Únicamente en la estación 4 se consideró un porcentaje de suplemento adicional de 8% al considerar el proceso muy complejo y un 2% por ser un trabajo muy aburrido. Al considerar los factores de calificación y suplementos se obtiene como resultado que, el tiempo estándar más alto lo presenta la estación 4 con 74.24 segundos, la cual representa la estación cuello de botella de la línea de ensamble. La estación más rápida es la estación 3 con 10.56 segundos, seguida de la estación 2 con 47.39 segundos y la estación 1 con 54.04 segundos.

Fase A. Método estadístico

Para determinar el IP (determina cuantas piezas se procesan por minuto) de la línea de ensamble se tomaron en cuenta los tiempos estándar de la Tabla 1 y la distribución inicial de la línea de ensamble presentado en la Figura 2 (b). La estación 4 representa el cuello de botella del proceso de ensamble ya que es la estación más tardada. Esto significa que cada 74.24 segundos se obtendrá una pieza después de que el tiempo de ensamble de la primera pieza haya transcurrido. La primera y segunda estación trabajan en paralelo, por lo que la primera pieza llega en 54.04 segundos a la estación 3, una vez que esta pieza ha sido procesada en esta estación, la primera pieza llega a los 64.60 segundos a la cuarta estación y finalmente una vez procesada en dicha estación se entrega como producto terminado en el segundo 138.84.

Para ese entonces, ya están en proceso la segunda y tercera pieza en las estaciones anteriores ya que el proceso de ensamble se trabaja en secuencia. Partiendo de este análisis se tiene que el $IP = 0.80$ piezas/minuto. Es decir cada 1.24 minutos se tendrá una pieza completa o por minuto se procesa el 80% de una pieza, después de haber procesado la primera pieza en 2.31 minutos. Con este parámetro se realizan los cálculos para determinar cuántos operadores se necesitan en cada estación de trabajo considerando una eficiencia planeada o esperada del 85%

Estaciones	TE (seg)	TE (min)	NOT	NOR	Tard (min)	T.a.bal. (min)
1	54.05	0.90	0.86	1	0.90	1.24
2	47.39	0.79	0.75	1	0.79	1.24
3	10.56	0.18	0.17	1	0.18	1.24
4	74.24	1.24	1.18	1	1.24	1.24
				4	3.10	4.95

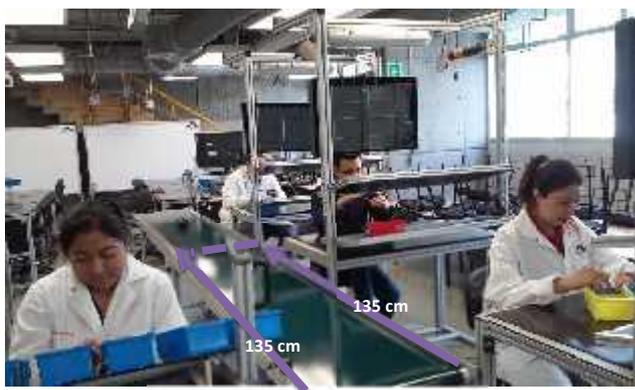
Tabla 2: Número de operadores reales y tiempo asignado balanceado.

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2 se observa que el número de operadores teóricos obtenido a partir de los cálculos corresponde a tres operadores, eliminando al operador de la estación 3. Este resultado brinda dos escenarios, el primero es considerar que hay un ahorro de recursos al realizar la producción únicamente con tres estaciones de trabajo, pero esto implicaría que las operaciones realizadas en la estación 3 tendrían que ser repartidas en las otras tres estaciones restantes. Lo que ocasionaría tener que incurrir en un proceso de capacitación para el nuevo proceso. La simulación de la fase 1 se trabaja programando la velocidad en banda transportadora igual al T.a. bal de 1.24 minutos, considerando 4 operadores y 4 estaciones (Fig.6).

La propuesta del equipo de trabajo, una vez analizado las ventajas y desventajas de conservar o eliminar al operador de la tercera estación, consiste en que dado a la complejidad del ensamble, se decide conservar el operario de la tercera estación, así que, la división de actividades para el ensamble del cartucho son asignadas a 4 operadores en 4 estaciones de trabajo.

(a)



(b)

Indicadores	Tiempo real para producir 10 piezas	15.15 minutos
	Tiempo esperado para producir 10 piezas	13.45 minutos
	Eficiencia estación 1	63%
	Eficiencia estación 2	55%
	Eficiencia estación 3	12%
	Eficiencia estación 4	87%
	Eficiencia global	54%
	Recursos utilizados (operadores)	4
	Tiempo ocioso	1.7 minutos
	Inventario en proceso acumulado	1 pieza en promedio entre estación 3 y 4
Productividad	0.66 piezas/minuto ↓18%	

Figura 6: (a) Simulación Fase A y (b) resultados de simulación Fase A. Fuente: Elaboración propia

El ensamble de las 10 piezas se realizó en 15.15 minutos, lo que indica que cada pieza se ensambló en un tiempo promedio de 1.51 minutos, al tomar el tiempo como recurso clave se determina que la productividad bajó un 18% ya que se había contemplado que las piezas se ensamblaran en 1.24 minutos. Esto es ocasionado principalmente al tiempo muerto generado entre estación 3 y 4 (1.7 minutos). Las bajas eficiencias evidencian que la utilización de este recurso no está bien empleado. La estación 1 y 2 alcanzaron valores de eficiencia de 73% y 64% respectivamente, a pesar de que son valores más altos que la estación 3, es notorio que los recursos en estas estaciones están siendo subutilizados. Este escenario afecta en gran medida el desempeño a nivel global de la línea de ensamble donde se obtuvo un nivel de eficiencia del 59%. La acumulación de inventario se mantuvo constante en un promedio de 1 pieza por minuto entre la estación 3 y 4.

Ante estos resultados se determina que el método estadístico no considera la ubicación o distribución del área de trabajo, no pretende modificar las

operaciones estaciones de trabajo, sólo el número de trabajadores en cada estación. Estas oportunidades de mejora se tomaron en cuenta en la Fase B de la simulación didáctica.

Fase B. Método gráfico

Al aplicar este método de balance se busca optimizar la carga de tareas en la línea al reducir el tiempo que está enfocado en la estación 4, la estación cuello de botella y la posible redistribución de las tareas en las demás estaciones. Para esto se analizaron las demoras e incidencias que se pueden eliminar en el tiempo de ensamble registrado en la fase A. Los alumnos registraron un total de 5 minutos atribuibles a demoras por falta de seguimiento del método y elementos extraños que se presentaron como la caída de herramienta, tornillos y tiempo ocioso que puede ser eliminado. A partir de esto se determina que el nuevo tiempo de ensamble para los 10 cartuchos pasa de 15.15 a 10 minutos aproximadamente, esto representa que, cada uno de los cartuchos debe ser ensamblado en 1 minuto aproximadamente, este valor representa el TC nuevo. A continuación se presenta el cálculo del número de estaciones necesarias

$$N = \frac{T_{d l p}}{T} \frac{p d p r a}{(60 s)} \quad (138.84 s)$$

$$= 2.31 e$$

De acuerdo con el cálculo teórico se necesitan 2.31 estaciones, sin embargo el tiempo que se ha considerado en cada una de las operaciones del proceso de ensamble en cada estación no permite reasignarlas de tal manera que en la nueva distribución queden únicamente dos estaciones. Lo que ocurrió en este caso es que las operaciones asignadas a cada estación de trabajo no se pueden dividir en sub operaciones dada a las características propias del proceso. Esto ocasionaría una complejidad innecesaria, nueva redistribución de materiales y herramientas en cada estación de trabajo, lo que provocaría la aparición de nuevos elementos extraños y la reestructuración de los factores de calificación. Por lo tanto, la propuesta de distribución, asignación de operaciones y los resultados de esta simulación se muestran en la figura 7.

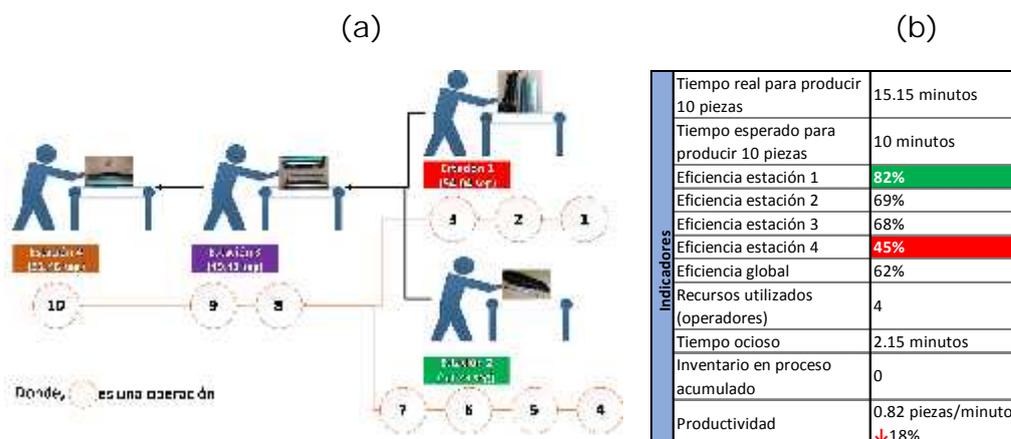


Figura 7: (a) nueva asignación de operaciones por estación (b) resultados obtenidos de la simulación fase 2. Fuente: Elaboración propia

Se consideró realizar lo siguiente: reajustar la carga de trabajo de la estación 3 a la 2, ya que la estación 3 presenta tiempos de demora, se realiza una distribución de su carga de trabajo para mejorar el tiempo de esta estación, otra de las estaciones que se liberó de carga fue la número 4 pasando una de sus actividades a la estación 3 al igual en esta parte se genera el cuello de botella y evitar la acumulación de inventario. Al realizar la segunda simulación, el ensamble de las 10 piezas se realizó en 12.15 minutos, lo que indica que cada pieza se ensambló en un tiempo promedio de 1.22 minutos, al tomar el tiempo como recurso clave se determina que la productividad bajó un 18% en relación al nuevo tiempo de ciclo ya que se había contemplado que cada pieza se ensamblaran en 1 minuto, sin embargo en relación al método anterior la productividad si alcanzó el valor objetivo establecido en ese entonces.

A pesar de que el tiempo de ciclo disminuyó y mejoró la productividad en 8% en relación al método anterior, aun se sigue registrando tiempos de demoras entre estación 1 y 3. En esta segunda fase se evidenció que a pesar de las mejoras realizadas en el método es necesario tomar en cuenta las características propias del proceso. En este punto ya no es posible dividir las operaciones en sub operaciones y garantizar un equilibrio de carga para las estaciones de trabajo y mejorar la eficiencia global de la línea.

Fase C (Combinación de ambos métodos)

Tomando en cuenta los resultados de simulación en fase A y B es posible combinar las ventajas de ambos métodos, por un lado balancear la línea utilizando la cantidad de recursos adecuados (número de trabajadores) y por otro lado, asignar la cantidad de carga de trabajo equitativa a cada estación. Sin embargo para evitar la acumulación de inventario en proceso y garantizar un flujo continuo de ensamble el enfoque de mejora se orientó a una nueva redistribución de las líneas de ensamble considerando las distancias entre estaciones y tomando como restricción el cuello de botella. La propuesta consiste en lo siguiente:

Adecuar una nueva distancia a partir de la estación 1 y 2 debido a que la actual distribución genera tiempos de demora hacia la estación 3. Se utiliza una combinación de ambos métodos ya que se verifican nuevamente los recursos en cuanto al número de operadores de acuerdo a la nueva asignación. Y la distribución de las operaciones en las estaciones de trabajo para garantizar un flujo continuo evitando tiempos de demora y acumulación de material. Ante este efecto se realiza una medición de distancias entre las estaciones, en la figura. 8 (a) y 8 (b) se presentan los resultados. Las distancias que se muestran se aplican al diagrama de precedencia de la figura 7, en el que permite que las estaciones 3 y 4 obtengan el material a tiempo al considerar una distancia de 102.5 cm, logrando así evitar las demoras entre estación y eliminar el cuello de botella que se genera en la estación 2.

Las distancias entre la estación 1 y 2 con respecto a la estación 3, fueron modificadas, considerando 135 cm y 77.5 cm respectivamente. De esta manera se logra obtener cero inventarios en proceso.



Figura 8: (a) nueva distribución de estaciones y (b) resultados obtenidos. Fuente: Elaboración propia

Las distancias se obtuvieron calculando el tiempo promedio que el inventario en proceso acumulado generaba en la estación cuello de botella. Ese tiempo fue traducido a distancias entre estaciones. Por ejemplo, la estación 1 termina su proceso de ensamble en 54 segundos y la estación 2 en 50 segundos, la diferencia de 4 segundos entre estaciones se traduce en 57 cm que garantiza que ambas piezas lleguen al mismo tiempo a la estación 3. Las eficiencias entre estaciones aumentaron considerablemente lo cual impacta en la eficiencia general de la línea, incrementando un 21% en relación al método anterior. El tiempo de entrega mejoró considerablemente lo cual impacta en la productividad total. A pesar de que no se logra cumplir el tiempo de ciclo teórico (TC= 54 Segundos), se logra mejorar en un 12% este indicador.

1. Discusión general

La diferencia en las eficiencias obtenidas en cada método de balanceo aplicado es debido a la utilización de los recursos, en este caso los operadores, y su asignación con las diferentes operaciones a ensamblar. Es evidente que la mejora del TC en cada una de las fases simuladas se ve reflejado en el impacto de la productividad pasando de un 18% a un 6% de diferencia en relación a la meta establecida por el TC. La combinación de las ventajas de ambos métodos de balanceo permitió garantizar un flujo continuo y un mínimo de inventario en proceso. Con ayuda del método estadístico se establecieron los recursos necesarios para poder realizar el proceso de ensamble determinado por la asignación de operaciones, éstas establecidas por el método gráfico. Al tomar en cuenta las restricciones propias del proceso y las características del ensamble del producto permitió mejorar el tiempo de entrega del producto y la eficiencia global de la línea como se puede observar en esta última fase simulada.

Conclusiones

La simulación didáctica pone en evidencia las ventajas de cada método de balanceo y permite detectar las oportunidades de mejora en el proceso.

Se analizó la importancia de cada método logrando establecer que, en dependencia del proceso de ensamble, se pueden obtener resultados favorables al momento de combinarlos. Inicialmente se tuvo que realizar una división de los componentes del proceso de ensamble entre los diferentes operarios, disminuyendo las estaciones de trabajo y reposicionándolas de tal forma que los tiempos disminuyeran y fueran muy similares evitando el tiempo ocioso para mejorar la eficiencia en cada una de las 4 estaciones.

El objetivo principal era mejorar el tiempo de ciclo, garantizando un flujo continuo y evitando acumulación de inventario en proceso; esto se logró al detectar que era necesario considerar las características propias del proceso como es la falta de flexibilidad para dividir los componentes que integran las operaciones de ensamble. Para esto, fue necesario desarrollar ideas complementarias de acuerdo al análisis de la problemática, de manera tal que permitiera una mejor eficiencia la cual mejoró de 54% a un 83%, minimizar los tiempos de ciclo y reducir inventario en proceso.

El trabajo en equipo y el objetivo en común fue aspecto clave y fundamental para conseguir el objetivo, tanto los operadores como los analistas demostraron que el involucrarse en la mejora continua, no depende únicamente de las habilidades cognitivas, sino también de las aptitudes ante una problemática. Con la actividad didáctica desarrollada se observa la importancia de una buena planeación del proceso analizado, las propuestas en equipo y la ejecución del trabajo para conseguir el objetivo, que es, balancear la línea para aumentar la productividad en el proceso de producción.

Referencias bibliográficas

1. Kucukkoc I, Zhang D. Balancing of parallel U-shaped assembly lines. *Computers & Operations Research*. 2015; (64):233-244.
2. Thi Lam N, Minh Toi L, Thanh Tuyen V, Ngoc Hien D. Lean line balancing for an electronics assembly line. *Procedia CIRP*. 2016; (40): 437-442
3. Isela B, Pérez I, Pérea J, Fernández C. Aplicación de Técnicas de Ingeniería Industrial en el Mejoramiento de un Proceso de Manufactura. *Ingeniería de Procesos: Casos Prácticos*. Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez: México; 2014; 6-18
4. Archiniega R, Pérez I, Torres J, Pérez J. Estudio de Tiempos y análisis de 8-Disciplinas Aplicados en la Reducción de Tiempos de Procesos. *Ingeniería de Procesos: Casos Prácticos* Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez: México; 2014.; 19-27
5. Grzechca W, Foulds L. The Assembly Line Balancing Problem with Task Splitting: A Case Study. *IFAC-Papers OnLine* 2015; (48):2002-2008.

Autores

Cinthia Fernández Corona, Dafne Anaid Chávez Martínez, Jonathan Saúl Mendoza Ramos, Estudiantes de Ingeniería Industrial, Departamento de Sistemas. UAM-Azcapotzalco

Lisaura Walkiria Rodríguez Alvarado, Profesor investigador, Departamento de Sistemas. UAM-Azcapotzalco

Jesús Loyo Quijada Profesor investigador, Departamento de Sistemas. UAM-Azcapotzalco

Agradecimientos

Se hace un especial agradecimiento a: Susana Martínez Hernández ya que sin su apoyo y contribución, no hubiese sido posible la realización de este artículo. Participó como analista y operador durante todo el proceso de la simulación vivencial así como en el proceso de recopilación de la información.

