CAPÍTULO VII

SIMULACIÓN DE BALANCEO DE LÍNEA CON PROMODEL[®]

Adrian Andres Magallan Morales

Estudiante próximo por egresar en la carrera en Licenciatura de Ingeniería Industrial y de Sistemas en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Correo electrónico: al159616@alumnos.uacj.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3771-523X>.

Luis Pérez-Domínguez

Profesor Investigador en la Universidad Autónoma de Ciudad Autónoma de Ciudad Juárez, Miembro del grupo de Investigación GRINFESC, participante activo en el Grupo de Investigación en Software – GIS, Miembro de Canadian Operational Research Society (CORS). Correo electrónico: luis.dominguez@uacj.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2541-4595>.

Karla Yohana Sánchez-Mojica

Directora de la Unidad de Investigaciones e Investigadora de la Fundación de Estudios Superiores Comfanorte FESC, líder del grupo de investigación GRINFESC, coordinadora de la Red Nacional de Revistas de Investigación, Investigadora categoría junior. Fundación de Estudios Superiores Comfanorte. Cúcuta, Norte de Santander, Colombia. Correo electrónico: investigaciones@fesc.edu ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3164-4725>.

David Luviano Cruz

Doctor en Control Aautomático (matemáticas aplicadas), actualmente labora como profesor investigador de tiempo completo nivel C en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, sus áreas de interés es reinforcement learning, control y robótica. Correo electrónico: david.luviano@uacj.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4778-8873>.

Resumen

Dentro de una empresa, es importante que la carga de trabajo en cada una de las estaciones de trabajo sea la adecuada. Pues gracias a esto se evitan situaciones, como lo es un cuello de botella, que es un problema muy común dentro de los procesos de elaboración de cualquier producto. Por este motivo, la herramienta del balanceo de líneas es indispensable para la solución de dicho problema. En este artículo el principal objetivo es realizar una comparación de los resultados obtenidos por el caso resuelto por miembros de la Universidad de Malaysia, en el cual se estudió una línea de ensamble de

www.doi.org/10.47212/tendencias2020vol.xiii.8

convertidores de potencia, utilizando como dato principal las unidades de tiempo de 27 actividades que conforman un total de 19 estaciones de trabajo para la elaboración de este producto. De este modo, se pretende valorar a través de aplicaciones de simulación Promodel®. A la par, el tipo de investigación que se emplea en este proyecto es experimental. Para la resolución de este caso, se utilizó la teoría básica respecto al tema de balanceo de líneas, la cual consiste en equilibrar los tiempos con respecto al tiempo tipo que se desea que posean cada una de las actividades para el requerimiento promedio de unidades que desea la empresa. Y para concluir dicho experimento, se hará uso de una simulación tanto del proceso original y la propuesta de mejora, con el fin de realizar una comparativa de los resultados obtenidos por el reajuste de tiempos para eliminar los cuellos de botella presentes en el proceso de producción.

Palabras clave: Balanceo de líneas, Cuello de botella, Simulación.

LINE BALANCING SIMULATION WITH PROMODEL®

Abstract

Within a company, it's important that the workload on each of the workstations is right. This avoids situations, such as a bottleneck, which is a very common problem within the processes of making any product. For this reason, the line balancing tool is indispensable for solving this problem. This article shows an example of the execution of this activity by reference to a case resolved by members of the University of Malaysia, in which a power converter assembly line was studied, using as its main data the time units of 27 activities that make up a total of 19 workstations for the elaboration of this product. For the resolution of this case, the basic theory regarding the topic of line balancing was used, which is to balance the times with respect to the type time that you want each of the activities to possess for the average requirement of units that the company wants. And to conclude this experiment, a simulation of both the original process and the proposal for improvement will be used, in order to make a comparison of the results obtained by the adjustment of times to eliminate the bottlenecks present in the production process.

Keywords: Line balancing, Bottleneck, Simulation.

Identificación del Proyecto que dio origen a esta investigación. Impacto del COVID en los sectores productivos de Colombia. El cual fue financiado por la Fundación de Estudios Superiores Comfanorte (FESC).

Introducción

En la actualidad, enfocándose en el ámbito industrial, nos encontramos en una situación en la cual es indispensable contar con la tecnología, cuya evolución es

constante y crece a nivel exponencial, gracias a esto las empresas pueden entrar en el ámbito competitivo. Es por este motivo por el cual surge la cuarta revolución industrial o industria 4.0, la cual consiste en la digitalización de la industria y todos los servicios relacionados con la empresa (ISO tools, 2018) de esta forma, las herramientas digitales son capaces de mostrar en tiempo real el estado de una línea de producción en una empresa, e incluso también se pueden realizar simulaciones de escenarios de un proceso para ofrecer mejoras y encontrar una forma óptima de llevarlo a cabo antes de implementarlo (Basco et al., 2018). El hecho de aprovechar estas ventajas permite el avance de la empresa con la tecnología, lo que hace que la empresa logre una mejora continua o kaizen, lo cual es un factor esencial para que las industrias formen parte del mercado y estar en competencia. El kaizen es posible gracias a la inclusión de todo en personal en el proceso, dicho de otra manera, Kaizen se basa en sustentar su presencia, como un elemento organizacional en la que la participación de los empleados impacta directamente en la mejora de los procesos de trabajo” (Senge, 1990; Elgar y Smith, 1994). La mejora continua de los procesos consiste en aplicar metodologías que permitan optimizar, de manera cuántica y sistemática, el comportamiento y resultados de los procesos, incrementando su eficiencia, eficacia y efectividad. (Bonilla et al., 2010).

Gracias a lo antes mencionado, una empresa es capaz de avanzar a la par con la tecnología, y de este modo lograr una mejora en sus procesos lo que representa ahorro de costos, así como mejora en la calidad de sus productos e incluso la adaptación de nuevas tecnologías que faciliten las tareas que requieren de una gran inversión de tiempo, de este modo actividades que requieran de meses puedan realizarse en semanas (Del Val Román, 2016.). Dentro de este orden de ideas se hace propio hablar del balanceo de una línea que, según Reyna (2017, diapositiva 9-11), consiste en distribuir físicamente las tareas en estaciones de trabajo con el objeto de balancear la carga de trabajo y disminuir el tiempo de ocio. Los propósitos que ésta implica se basan principalmente en: i) Igualar la carga de trabajo de las estaciones; ii) Identificar la operación que constituya el cuello de botella; iii) Establecer la velocidad de la línea; iv) Determinar el número de estaciones de manufactura; v) Calcular el costo de mano de obra de ensamblado y empaque; vi) Establecer la carga de trabajo porcentual de cada operador.

Algunas de las recomendaciones que se dan, antes de que un balanceo de línea se ejecute en el área productiva, es que los operadores encargados de llevar las actividades

dentro de la línea de producción deben estar capacitados para elaborar el trabajo, de esta forma, se reducen errores y los tiempos tomados no tendrán tanta diferencia entre sí. Además, llevar a cabo el balance de líneas requiere de atención por parte del personal que lo realice, sobre todo al momento de recopilar los datos. Para dedicar dicho enfoque, la mejor forma de realizar esta actividad es durante los eventos kaizen que se dan dentro de la empresa, de esta forma, dependiendo también de la cantidad de días que se dediquen en dicho evento, el personal encargado de hacer el balance podrá concentrarse en dicha actividad sin necesidad de preocuparse por asuntos ajenos a esto. En la empresa, realizar actividades a largo plazo pueden llegar a representar una baja en la producción, altos costos de manufactura, pérdidas de material o productos terminado, todo lo anterior mencionado debido a que la mejora requerirá tiempo en implementarse, ya sea por cálculos que se deban hacer e incluso pequeñas corridas en una línea de producción para poder encontrar una configuración adecuada para la fabricación del producto. Es por este motivo que la tecnología es un gran aliado para las empresas.

Para llevar a cabo un análisis de la situación actual de las líneas de producción, junto con las posibles soluciones planteadas para la problemática, se hará uso de un software de simulación que permita la manipulación de parámetros y estaciones de trabajo, con el fin de encontrar una configuración para la línea de producción que dé solución a este caso. (Dunna et al., 2006). El resultado y la mejora de la línea de ensamble se discutirán en función de la eficiencia, el retraso del equilibrio, la utilización y el rendimiento, realizando una comparativa tanto del estado actual de la línea de ensamble, así como después de una propuesta de mejora, con lo cual se evalúan los resultados que se obtendrán al momento de realizar la simulación de ambos casos. (Kharuddin et al., 2020). Existe una forma para poder realizar estos escenarios sin necesidad de realizar gastos o pérdidas de material que se necesiten para conocer la situación que se enfrentará. Este método es la simulación, pues gracias a esta se exponen las características y posibilidades de cada tipo de simulación, así como la estrategia a desarrollar (Salas y Ardanza, 1995). El programa que se utilizó para la resolución del caso fue ProModel®, el cual permite simular cualquier tipo de sistemas de manufactura, logística, servicios y manejo de materiales, donde, una vez creado el escenario actual y propuesto, éste puede ser manipulado y optimizado para encontrar los valores claves del modelo. (ProModel®, s.f.). Teniendo claro el concepto y la herramienta que se utilizará en esta ocasión, se

espera cumplir con el objetivo de este caso el cual es lograr un aumento en la utilización de las estaciones de trabajo y el aprovechamiento de esto para aumentar las unidades producidas de convertidores de potencia, todo esto gracias a los datos que se obtendrán ejecutando la simulación en ProModel®.

Fundamentación teórica

Lean Manufacturing o Manufactura Esbelta, dieron origen a su concepto en el sistema de producción de Toyota o TPS, por sus siglas en inglés Toyota Production System, Francisco Gonzales Correa (2007), ofrece la siguiente definición “Lean es un conjunto de “Herramientas” que ayudan a la identificación y eliminación o combinación de desperdicios (muda), a la mejora en la calidad y a la reducción del tiempo y del costo de producción.” (p.86).

1. Takt time y tiempo ciclo

Algo a considerar al momento de realizar un balance de líneas, y que a su vez funciona como complemento, es el takt time, que, como lo describen Zapata y Cano (2015) “...es el tiempo necesario para completar una tarea del proceso de fabricación, el cual brinda beneficios tales como: satisfacción del cliente, reducción de costos, incrementación en la capacidad de producir, reducir daño al producto y continuar siendo competitivos”. (p. 60). Para lograr el cálculo del takt time, se debe contar con datos como el tiempo requerido para la elaboración de los productos, únicamente considerando el tiempo laborado sin interrupciones como descansos, además de conocer la producción requerida por el cliente. Las unidades con la que este se representa son segundos por pieza. Ejemplo: En una empresa que trabaja 8 horas diarias, con una hora de descanso, y 5 días a la semana se requiere un pedido de 215,000 piezas anuales de un producto, el contenido de trabajo es de 415 segundos. La siguiente ecuación (1) permite realizar el cálculo del takt time:

$$Takt\ time = \frac{Tiempo\ laborado\ (seg)}{Demanda\ de\ producto\ (día)} \quad (1)$$

Una vez sustituidos los datos, realizadas las conversiones y operaciones correspondientes se obtiene el siguiente resultado:

$$Takt\ time = \frac{(8\ horas - 1\ hora) * 3600\ seg}{\left(\frac{215,000\ p.\ anuales}{240\ dias\ laborales}\right)} = \frac{25,200\ seg}{895\ p.\ diarias} = 28.15\ se\ g/p\ ieza$$

Este dato es necesario para poder calcular la cantidad de estaciones de trabajo que se requerirán para poder elaborar dicho producto y cumplir con la demanda, para lograr esto se realiza un cociente del contenido de trabajo y el takt time, de la siguiente forma:

$$\# de\ estaciones = \frac{415}{28.15} = 14.72\ estaciones = 15\ estaciones$$

Con este ejemplo teórico, se llega a la conclusión de que son necesarias un total de 15 estaciones de trabajo, para que la empresa pueda cumplir con la demanda de 215,000 piezas requeridas anualmente por el cliente. A pesar de que el tiempo ciclo y el takt time están ligados, existe una diferencia entre estos, ya que el tiempo ciclo hace referencia a la cantidad de minutos, segundos u horas para la fabricación de un producto, mientras que el takt time se refiere al tiempo en el cual el mercado demanda el producto a la empresa. (Lean Manufacturing, s.f.-a). Tal y como menciona Álvares (2014), el hecho de definir correctamente el tiempo ciclo, puede generar algunas ventajas como: I. Control de la productividad adecuada. II. Establecimiento de indicadores y objetivos. III. Adecuada gestión de la producción, tiempos de paro, tamaño de los stocks. IV. Capacidad de máquina mantenida en el tiempo y suficiente. V. Equilibrado de la producción. Se puede decir que la industria 4.0 es una nueva era que da un salto cuantitativo y cualitativo en la organización y gestión de cadenas de valor. Esta nueva etapa de la industria apuesta por una mayor automatización, conectividad y globalización. (CIC, 2017). Las tecnologías que trae consigo la industria 4.0, son la simulación, fabricación aditiva, los sistemas de integración horizontal y vertical, ciberseguridad, realidad aumentada, cómputo en la nube, robots autónomos, internet industrial de las cosas, el big data y la analítica avanzada (Rüßmann et al., 2016; Ynzunza, et al., 2017).

Metodología

El diseño de esta investigación es cuantitativo, debido a que se percibe y mide un fenómeno en su contexto para después analizar (Rincón y Álvarez, 2020) la recolección de los datos consistió en el total de tiempo de operaciones en una línea de ensamble

para la fabricación de convertidores de potencia, para este caso, las limitantes que se muestran en el artículo del cual surge el interés por llevar a cabo el presente trabajo, con el fin de ejemplificar de una manera clara los beneficios que se obtienen al realizar un balance de línea exitoso. Para poder cumplir con el objetivo propuesto, el cual consiste en aumentar la utilización de las estaciones de trabajo dentro de la línea de ensamblaje y un aumento en la utilización de las estaciones de trabajo, usando el software de simulación ProModel®, ya que permite configurar un espacio de trabajo, semejante al de la línea de ensamble de convertidores de potencia, y de forma experimental realizar modificaciones a los tiempos de ejecución de cada una de las actividades que se llevan a cabo para la elaboración de este producto. De este modo, el otro objetivo del presente estudio es obtener una comparación con el estudio propuesto por Mohammad Huskhazrin Kharuddin. Finalmente, se puede constatar que los datos usados para la investigación son de naturaleza cuantitativa dado que no se recurre al uso de encuestas, escalas subjetivas o algún otro instrumento de índole cualitativa.

El utilizar dicha herramienta, permite la obtención de los resultados de cada uno de los escenarios que se elaboren dentro de este software, de esta forma la interpretación de los datos es clara, ya que se apoya de gráficos que facilitan el análisis de estos y con esto llegar a una conclusión para saber si el objetivo se cumple o no. Para esta investigación, como se explicó anteriormente, se realizó una simulación de la línea de ensamble antes de realizar alguna implementación de mejora, de esta forma los datos obtenidos del procedimiento original sirvieron como base para poder realizar una comparativa de los ajustes que pudieran realizarse para que el balanceo de línea cumpla con el objetivo de reducir los cuellos de botella presentes y aumentar las unidades producidas.

Caso práctico

Para ejemplificar la aplicación del balanceo de una línea de producción, se utilizó el caso explicado y resuelto por Mohammad Huskhazrin Kharuddin. El cual se basa en una industria dedicada a la producción de convertidores de potencia que tienen por objetivo la conversión de energía eléctrica entre dos formatos diferentes, por ejemplo, adquirir corriente continua desde corriente alterna. (Mañana, s.f.). La problemática que presenta este caso consiste en el elevado tiempo de inactividad dentro de las operaciones de la línea de producción, a causa del flujo de precedencia entre estas, así como los altos

tiempos de ciclo y estaciones de trabajo, los cuales tienen un efecto sobre los costos de la empresa y su rendimiento. (Tiacci, 2015). Antes de implementar una solución para erradicar dicha problemática, es importante tomar en cuenta las limitantes a las que se sostiene la producción del producto, las cuales no deben ser ignoradas al momento de efectuar una propuesta de mejora. Para esto se debe considerar que una tarea que se ha establecido en una estación de trabajo no se puede asignar en otra. (Chutima & Suphapruksapongse, 2004; Zhong & Ai, 2017). Además de esto, el tiempo total para que cada estación de trabajo concluya todas sus actividades debe ser inferior o igual al tiempo ciclo. Por último, la relación de precedencia debe ser seguida estrictamente por todas las tareas y no debe pasarse por alto. (Das et al., 2010; Make et al., 2017; Yuguang et al., 2016). La línea de producción de la empresa tiene un total de 19 estaciones de trabajo, en las cuales, se reparten 27 tareas. Tiene un periodo de trabajo de 52 semanas, de las cuales se labora un total de 10 horas de lunes a viernes, con una hora de comida. Se espera que la empresa tenga un promedio de 1000 unidades diarias, con una eficiencia del 90%, sabiendo lo anterior, el tiempo ciclo de las operaciones podemos calcularlo de la siguiente manera:

$$tiempo\ ciclo = \frac{60\ min * 9\ hrs * 0.9}{1000\ u} = 0.4860\ min$$

A continuación, se muestra, en la figura 1, la precedencia a la cual está sujeto el proceso de producción de los convertidores de potencia, además, con ayuda de la tabla 1, se conocen los tiempos de procesamiento en cada área:

Figura 1

Precedencia de línea de ensamble

Adaptado de: Kharuddin *et al.* 2019.

Tabla 1
Tiempos de procesamiento de tareas

Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tiempo (min)	0.299	0.309	0.445	0.302	0.349	0.371	0.188	0.144	0.092
Actividad	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Tiempo (min)	0.143	0.301	0.137	0.04	0.155	0.331	0.155	0.176	0.063
Actividad	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Tiempo (min)	0.229	0.29	0.375	0.184	0.08	0.181	0.356	0.028	0.402

Fuente: elaboración propia (2020). adaptado de: Kharuddin *et al.* (2019).

Una vez simulado el escenario, bajo las condiciones que se explicaron anteriormente, se obtuvo una producción por día de 845 unidades, cuando se recopilaron los datos después de la simulación, se analizó el comportamiento de cada una de las actividades en el proceso, con ayuda de la tabla y en la figura 2, se puede observar el porcentaje de utilización de las estaciones de trabajo y las entradas a cada una de ellas.

Tabla 2
Porcentaje de utilización y entradas de las estaciones de trabajo

Estación	1	7	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
% Utiliz.	47	93	49	70	48	55	58	23	100	100	76	38	36	46	59	41	28	60	63
Total	853	852	854	853	852	852	851	851	851	850	849	848	848	848	847	847	846	846	845

Fuente: elaboración propia (2020).

Figura 2
Gráfica de utilización de las estaciones de trabajo

Fuente: elaboración propia (2020).

Antes de realizar una propuesta de mejora, es necesario analizar la situación actual de esta línea de ensamble de convertidores de potencia. Para poder realizar una comparación, se muestra a continuación, en la tabla 3, el porcentaje de operación e inactividad que tienen cada una de las estaciones de trabajo. Una vez conocido lo anterior, podremos crear un diferente escenario para aumentar tanto la producción como el uso de las estaciones de trabajo.

Tabla 3

Porcentajes de operación e inactividad de las estaciones de trabajo

Estación	1	7	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
% Oper.	47.2	29.7	48.8	70.3	47.7	55.1	58.5	22.7	36.8	99.6	76.2	37.5	36.0	45.5	58.8	41.4	28.4	60.1	62.9
% Inact.	52.8	70.3	51.2	29.7	52.4	45.0	41.5	77.3	63.2	0.4	23.8	62.5	64.0	54.5	41.2	58.6	71.6	39.9	37.1

Fuente: elaboración propia (2020).

Como mejora, considerando el promedio de piezas diarias que se estimaba conseguir con una eficiencia del 90%, se hizo una reasignación de tareas con el fin de aprovechar la disponibilidad de aquellas actividades que tienen un alto porcentaje de inactividad. Tomando en cuenta que, para cumplir con el promedio de 1000 unidades diarias, el tiempo ciclo de las operaciones debe ser menor o igual a 0.4860 minutos. La reasignación de tareas se muestra en la tabla 4, dejando un total de 17 estaciones de trabajo para la fabricación de los convertidores de potencia.

Tabla 4

Reasignación de tareas en las estaciones de trabajo

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tarea	1	8	2	3	4	5	6	7	9
Tiempo	0.299	0.144	0.309	0.445	0.302	0.349	0.371	0.188	0.092
Tiempo total	0.443	0.309	0.445	0.302	0.349	0.371	0.422	0.301	0.332
Estación	10	11	12	13	14	15	16	17	
Tarea	15	16	17	18	19	22	20	21	
Tiempo	0.331	0.155	0.176	0.063	0.229	0.184	0.290	0.375	
Tiempo total	0.331	0.394	0.412	0.290	0.375	0.289	0.356	0.402	

Fuente: elaboración propia (2020).

Figura 3

Layout de propuesta

Fuente: elaboración propia (2020).

Resultados

Una vez que se establecieron las actividades en sus estaciones y sus respectivos tiempos, de proceder a realizar el escenario dentro de ProModel®, como se muestra en la figura 3. Además de esto se le añade un contador en la última estación que mostrará la cantidad de piezas producidas al final de la jornada laboral.

Figura 4

Utilización de las estaciones de propuesta

Fuente: elaboración propia (2020).

Al finalizar la simulación se obtuvieron un total de 1200 unidades al final del turno. El porcentaje de utilización de las estaciones de trabajo logran sobrepasar el 50% cada una, como se muestra en la figura 4, y es gracias a la tabla 5 que se puede ver el porcentaje exacto de cada una de las estaciones y las entradas del producto a cada una de estas, con lo cual se comprueba que la propuesta cumple con el objetivo que se tenía establecido.

Tabla 5

Porcentaje de utilización y entradas de las estaciones de trabajo de propuesta

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
% Utiliz.	99.6	69.4	99.9	67.7	78.2	83.1	94.4	67.3	74.2	73.9	88.0	91.9	64.7	83.5	64.3	79.2	89.4
Entradas	1214	1213	1212	1211	1211	1210	1209	1208	1207	1207	1206	1205	1204	1203	1203	1202	1201

Fuente: elaboración propia (2020).

Otro punto importante por considerar es el porcentaje de operación de cada una de las estaciones de trabajo, ya que como se puede observar en la tabla 6, la inactividad de las estaciones se redujo considerablemente y, a pesar de que algunas aun estén por encima de un 30%, esto representa una gran mejora en el aprovechamiento del tiempo disponible que las estaciones de trabajo tenían antes de que se realizara y simulara esta propuesta.

Tabla 6

Porcentajes de operación e inactividad de propuesta

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
%Operación	99.6	69.4	99.9	67.7	78.2	83.1	94.4	67.3	74.2	73.9	88.0	91.9	64.7	83.5	64.3	79.2	89.4
% Inactivo	0.5	30.6	0.1	32.3	21.8	16.9	5.6	32.7	25.8	26.1	12.1	8.1	35.4	16.5	35.7	20.8	10.6

Fuente: elaboración propia (2020).

Discusión

Considerando el objetivo que se tiene con este caso, el cual consiste en un aumento en la utilización de las estaciones de trabajo y reducir los cuellos de botella, con la intención de aprovechar el tiempo perdido entre cada una de las estaciones, debido a que estas no estaban cargadas de trabajo por igual, provocando los cuellos de botella que se pudieron ver con anterioridad, logrando así un aumento en las unidades producidas con base al promedio de piezas estimadas que la empresa requería fabricar en un día, y junto a esto, lograr que cada una de las estaciones, dentro de la línea de ensamble de convertidores de potencia, tengan una carga de trabajo que permita al proceso realizar cada unidad de forma eficiente, considerando al tiempo como nuestro principal recurso para este caso, debido a que es la clave al momento de llevar a cabo el balance de la

línea, junto con el tiempo ciclo entre cada una de las estaciones de trabajo, que gracias al cálculo del mismo, se logró hacer una reorganización en las actividades dentro del proceso y a su vez un reajuste en los tiempos, tomando en cuenta el tiempo ciclo para cada estación. Recopilados los datos anteriores, la reorganización de actividades y el reajuste de tiempos, se procedió a crear dicho campo en Promodel®, para configurar dichos parámetros y llevar a cabo la simulación, que permitió a este caso su resolución y nos mostró gráficamente la presencia de mejora tanto en unidades producidas, y con esto la ausencia de cuellos de botella en las estaciones de la línea de ensamble.

Para apreciar mejor el cambio entre el método original y el propuesto, se hará uso del gráfico de líneas que se muestra en la figura 5, en la cual, se hace una comparación entre ambos métodos apoyándose también del promedio en cada uno de estos, siendo un total de 57.34% de utilización para el método original y 80.51% para la propuesta. Además, también del porcentaje de utilización de cada una de las estaciones, podemos darnos cuenta de la comparativa en el desfase que se tienen en los tiempos con respecto a la media. Cabe mencionar también que, a comparación del original, los datos obtenidos con la propuesta no tienen un valor inferior al 50% de utilización, a simple vista y con apoyo de este dato, podemos darnos cuenta de la mejoría que se realiza en este proceso y cada una de las estaciones de trabajo, enfocándose en aumentar la utilización de estas.

Figura 5

Gráfico de líneas de utilización de estaciones de trabajo

Fuente: elaboración propia (2020).

Además de lo anterior mencionado, con ayuda de la figura 6, se logra hacer una comparativa del total de entradas del producto dentro de las estaciones, esto simulando una jornada laboral de 9 horas como se mencionó al principio del caso. Al igual que con el gráfico anterior, podemos notar la mejoría gracias a la utilización que se da en cada una de las estaciones y el aprovechamiento del tiempo de inactividad que existía en estas, también, los percentiles del porcentaje de operación, obtenidos a partir de los datos después de la mejora, pueden observarse en la tabla 8.

Figura 6
Información de estaciones de trabajo

Número	Tiempo Programado (H)	Capacidad	Total Entradas	Tiempo Por entrada Promedio (Min)	Contenido Promedio	Contenido Máximo	Contenido Actual	% Utilización	Número	Tiempo Programado (H)	Capacidad	Total Entradas	Tiempo Por entrada Promedio (Min)	Contenido Promedio	Contenido Máximo	Contenido Actual	% Utilización
Estación 1	9:00	1:00	1,214,000	0.44	1.00	1.00	1.00	99.55	Estación 1	9:00	1:00	855,000	0.30	0.47	1.00	1.00	47.29
Estación 2	9:00	1:00	1,213,000	0.31	0.69	1.00	1.00	69.39	Estación 7	9:00	1:00	855,000	0.59	0.51	1.00	1.00	51.54
Estación 3	9:00	1:00	1,212,000	0.44	1.00	1.00	1.00	99.66	Estación 2	9:00	1:00	854,000	0.31	0.49	1.00	1.00	49.82
Estación 4	9:00	1:00	1,211,000	0.30	0.68	1.00	0.00	67.73	Estación 3	9:00	1:00	853,000	0.44	0.70	1.00	1.00	70.23
Estación 5	9:00	1:00	1,210,000	0.35	0.78	1.00	1.00	78.21	Estación 4	9:00	1:00	852,000	0.30	0.48	1.00	0.00	47.65
Estación 6	9:00	1:00	1,210,000	0.37	0.83	1.00	1.00	83.69	Estación 5	9:00	1:00	852,000	0.33	0.53	1.00	1.00	53.03
Estación 7	9:00	1:00	1,209,000	0.42	0.94	1.00	1.00	94.44	Estación 6	9:00	1:00	851,000	0.37	0.58	1.00	0.00	58.47
Estación 8	9:00	1:00	1,208,000	0.30	0.67	1.00	1.00	67.32	Estación 8	9:00	1:00	851,000	0.14	0.23	1.00	0.00	23.69
Estación 9	9:00	1:00	1,207,000	0.33	0.74	1.00	0.00	74.21	Estación 9	9:00	1:00	851,000	0.60	1.00	1.00	1.00	99.91
Estación 10	9:00	1:00	1,207,000	0.33	0.74	1.00	1.00	73.93	Estación 10	9:00	1:00	850,000	0.40	0.76	1.00	1.00	76.24
Estación 11	9:00	1:00	1,206,000	0.39	0.88	1.00	1.00	87.95	Estación 11	9:00	1:00	849,000	0.24	0.38	1.00	0.00	37.53
Estación 12	9:00	1:00	1,205,000	0.41	0.92	1.00	1.00	91.90	Estación 12	9:00	1:00	849,000	0.23	0.36	1.00	0.00	35.99
Estación 13	9:00	1:00	1,204,000	0.29	0.65	1.00	1.00	64.65	Estación 14	9:00	1:00	848,000	0.29	0.46	1.00	1.00	45.51
Estación 14	9:00	1:00	1,203,000	0.38	0.84	1.00	0.00	83.54	Estación 15	9:00	1:00	847,000	0.38	0.59	1.00	0.00	58.82
Estación 15	9:00	1:00	1,203,000	0.29	0.64	1.00	1.00	64.34	Estación 16	9:00	1:00	847,000	0.26	0.41	1.00	1.00	41.37
Estación 16	9:00	1:00	1,202,000	0.36	0.79	1.00	1.00	79.21	Estación 17	9:00	1:00	846,000	0.10	0.28	1.00	0.00	28.39
Estación 17	9:00	1:00	1,201,000	0.40	0.89	1.00	1.00	89.39	Estación 18	9:00	1:00	845,000	0.40	0.63	1.00	0.00	63.51

Fuente: elaboración propia (2020).

Tabla 8
Percentiles del % de Operación

Percentil	2.9	8.8	14.7	20.6	26.5	32.4	38.2	44.1	50.0	55.9	61.8	67.6	73.5	79.4	85.3	91.2	97.1
% Operación	64.3	64.7	67.3	67.7	69.4	73.9	74.2	78.2	79.2	83.1	83.5	88.0	89.4	91.9	94.4	99.6	99.9

Fuente: elaboración propia (2020).

Gracias a esto, se estaría cumpliendo con uno de los objetivos que tiene la ingeniería dentro de la empresa, el cual es estandarizar el trabajo, ya que gracias a esto se dejan las

bases para que posteriormente se puedan realizar modificaciones que permitan mejorar continuamente la actividad evaluada, ya que a pesar de que los resultados obtenidos con anterioridad, con respecto a la mejora que se implementó para este caso, aún se presentan oportunidades de mejora que pueden lograr que exista un mayor aprovechamiento para cada una de las estaciones de trabajo.

Conclusiones

El balanceo de líneas, además de ser una herramienta útil al momento de optimizar, es algo que debe ser indispensable dentro de todas las industrias que busquen la mejora continua. No solo permite reducir tiempos de inactividad y elevar la producción con los ajustes que se hacen, lo antes mencionado va de la mano con una reducción en los costos de producción y menor tiempo de espera para la entrega del producto final a nuestros clientes.

En el caso presentado, se puede tener en claro la idea de cómo es que un balanceo de línea debe realizarse, contando con los datos necesarios para la elaboración de este. Antes de realizar una propuesta, es necesario considerar los factores que podrían ser limitantes para que esto se pueda realizar, como la maquinaria la cual no puede ser forzada a trabajar un tiempo corto a comparación del establecido, esto porque el producto en esta etapa del proceso es necesario el procesamiento de la materia dentro de la maquinaria para su correcto funcionamiento, y también es importante considerar el factor humano, no podemos olvidar que son personas con las que realizaremos estos ajustes, habrán tareas que realmente no podríamos realizar algún cambio debido al grado de dificultad de la misma, por esto es necesario que se respeten este tipo de actividades y no darles más peso del que tienen y por último, es necesario seguir el ritmo de precedencia de cada operación, depende del tipo de producto a elaborar, es necesario que la materia prima se someta a una secuencia de actividades que poco a poco den forma al producto final, dicha frecuencia no puede ser alterada para evitar defectos al momento de procesar la materia prima.

De este modo el objetivo del estudio es alcanzado al momento de obtener resultados usando los datos propuestos en el programa de simulación ProModel®. Para este balanceo de línea, se consideró el tiempo ciclo que se obtiene gracias al promedio de

unidades diarias que se pensaba obtener al final de una jornada laboral, y suponiendo que ninguno de los factores antes mencionados impide una mejora dentro del proceso de fabricación de los convertidores de potencia, se buscó una forma de adaptar las actividades a este tiempo y aumentar tanto el uso de cada una de las estaciones de trabajo como la producción diaria de este producto.

Referencias bibliográficas

- Álvarez, A. (2014). *Tiempo de ciclo*. QE2 Ingeniería. Tiempo de ciclo | QE2 eConsulting Consultoría e ingeniería (qe2ingenieria.com).
- Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., y Garnero, P. (2018). *Industria 4.0: fabricando el futuro* (Vol. 647). Inter-American Development Bank.
- Bonilla, E., Díaz, B., Kleeberg, F., Noriega, M. T. (2010). *Mejora continua de los procesos: herramientas y técnicas*. Universidad de Lima. Fondo Editorial.
- Chutima, P., & Suphapruksapongse, H. (2004). Practical Assembly Line Balancing in a Monitor Manufacturing Company. *Thammasat International Journal of Science and Technology*, 9(2), 62-70.
- CIC Consulting Informático. (2017). *Industria 4.0, la cuarta revolución industrial y la inteligencia operacional*. Industria 4.0 la cuarta revolución industrial inteligente (cic.es).
- Das, B., Sanchez, J.M., Garcia, A., & MacDonald, C.A. (2010). A Computer Simulation Approach to Evaluating Assembly Line Balancing with Variable Operation Times. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 21(7), 872-887.
- Del Val Román, J. L. (2016). *Industria 4.0: la transformación digital de la industria*. In Valencia: Conferencia de Directores y Decanos de Ingeniería Informática, Informes CODDII.
- Dunna, E. G., Reyes, H. G., y Barrón, L. E. C. (2006). *Simulación y análisis de sistemas con ProModel*. Pearson Educación.

- Elgar, T., & Smith, C. (1994) *Global Japanization: The Transnational Transformation for the Labour Process*. London: Routledge.
- Gonzalez, F. (2007). Manufactura esbelta (Lean Manufacturing) principales herramientas. *Revista Panorama Administrativo*. año 1 No. 2, pp 85-112. <https://es.slideshare.net/ricardouchau/lean-50571125>
- ISOtools. (2018). *Industria 4.0, ¿qué debemos saber?*, ISOtools. <https://www.isotools.org/2018/07/12/industria-4-0-que-debemos-saber/>.
- Kharuddin, M. H., Ramli, M. F., & Masran, M. H. (2020). Line balancing using heuristic procedure and simulation of assembly line. *Indonesian J Elect Eng Comput Sci*. 17(2), 774-782.
- Lean Manufacturing. (s.f.-a). *Takt time Vs Tiempo de ciclo*. Definición y ejemplos. Takt time Vs Tiempo de ciclo. Definición y ejemplos. (leanmanufacturing10.com)
- Make, R, Rashid M, F. & Razali, M. (2017). *A Review of Two-Sided Assembly Line Balancing Problem*. *The international Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 89(5-8), 1743-1763.
- Mañana, M. (s.f.). *Convertidores electrónicos de potencia*. Regulación, control y protección de máquinas eléctricas. Universidad de Cantabria.
- ProModel. (s.f.) *Software de Simulación de Sistemas, Propósitos Generales y Arquitectura Abierta*. <http://promodel.com.mx/promodel/>
- Reyes, J. (2020). *¿Qué es y cómo aplicar la metodología 5S en su empresa? Lean Construction México*. *¿Qué es y cómo aplicar la metodología 5S en su empresa?* (leanconstructionmexico.com.mx).
- Reyna. M. (2017). *Balanceo de línea [Diapositiva de PowerPoint]*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Presentación de PowerPoint (uaeh.edu.mx).

- Rincón, D. y Álvarez, D. (2020). Espíritu emprendedor universitario, desde una perspectiva de género, estudio del estado de Guanajuato. México. En Chirinos, Y., Ramírez, A., Godínez, R. Barbera, N. y Rojas, D. (2020). (Eds). *Tendencias en la Investigación Universitaria. Una visión desde Latinoamérica*. Volumen X, pp 117- 131.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M. Jan Justus, J., Engel J. y Harnisch, M. (2016). *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. *Boston Consulting Group*. 3.
- Salas, R. S., y Ardanza, P. (1995). La simulación como método de enseñanza y aprendizaje. *Educación Médica Superior*, 9(1), 3-4.
- Senge, P. (1990) *The Fifth Discipline*. New York. N.Y: Double Day.
- Tiacci, L. (2015) Coupling a Genetic Algorithm Approach and a Discrete Event Simulator to Design Mixed-Model Unpaced Assembly Lines with Parallel Workstations and Stochastic Task Times. *International Journal of Production Economic*, (159), 319-333.
- Ynzunza, C.B., Izar, J.M., Bocarando, J.G., Pereyra, F.A., y Osorio, M.L. (2017). *El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras*. El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras (redalyc.org).
- Yuguang, Z., Bo, A. & Yong, Z. (2016). A PSO Algorithm for Multi-Objective Hull Assembly Line Balancing using the Stratified Optimization Strategy. *Computers & Industrial Engineering*. (98), 53-62.
- Zapata, M. Á. M., y Cano, J. G. C. (2015). Takt Time, el corazón de la producción. *Vía Innova*, (2), 60-62.
- Zhong, Y.G., & Ai, B. (2017). A Modified Ant Colony Optimization Algorithm for Multi Objective Assembly Line Balancing. *Soft Computing*, 21(22), 6881-6894.