

## **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.

Email: [al159616@alumnos.uacj.mx](mailto: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)

Email: [luis.dominguez@uacj.mx](mailto: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

Email: [investigaciones@fesc.edu](mailto:investigaciones@fesc.edu) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3164-4725>

### **David Luviano Cruz**

Doctor en control automático (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.

Email: [David.luviano@uacj.mx](mailto: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, se muestra un ejemplo de la ejecución de dicha actividad tomando como referencia un caso resuelto por miembros de la Universidad de Malaysia, en el cual se estudió una línea de ensamble de 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. 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.

## **Introducción**

En la actualidad, enfocándose en el ámbito industrial, nos encontramos en una situación en la cuales es indispensable contar con la tecnología, cuya evolución es constantemente y crece a nivel exponencial, y es gracias a esto que 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, 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, hace que la empresa logre una mejora continua o kaizen, lo cual es la base dentro de las industrias para poder formar parte del mercado y estar en competencia. El kaizen es posible gracias a la inclusión de todo en personal en el proceso, dicho de una mejor forma, “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).

Por su parte, 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 que permitan ahorro de costos, mejora en la calidad de sus productos e incluso la adaptación de nuevas tecnologías que faciliten las tareas que requieran 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 idea se hace propio hablar de el balanceo de una línea que, según la profesora de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mary Carmen 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.

Para complementar lo mencionado anteriormente, es útil que el trabajo este estandarizado, se debe saber cuál es la mejor forma de hacer las cosas para que el producto a elaborar se realice con la mejor calidad posible, realizar esto es importante, ya que permite la mejora continua. También es importante disponer de administración visual, gracias a esto accedemos a información sobre los resultados obtenidos durante la producción de una forma más simple y rápida, lo que facilitará la recopilación de datos al momento de hacer el balance de línea.

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 terminados, 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<sup>®</sup>, 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<sup>®</sup>, s.f.)

## **Fundamentación teórica**

### **1.1 Lean Manufacturing**

#### **1.1.1 Definición**

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, p.86), 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.”

#### **1.1.2 Herramientas**

En este apartado se agregan las herramientas que se consideraron para la elaboración del estudio.

##### **1.1.2.1 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 describe Miguel Zapata y Jerry Cano en su artículo “*Takt time, el corazón de la producción*”:

“...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”. (Zapata y Cano, 2015, 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:

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

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:

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

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 Alfonso 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.

### **1.1.2.2 5'S**

La herramienta de las 5's surge al momento que la Segunda guerra mundial finaliza, Japón implementó esta herramienta con el fin de restaurar de la manera más rápida posible su economía, ya que esperaba que con esto sus productos entraran dentro de la competencia que para ese entonces sus productos comenzaron a tener impacto internacionalmente. Y fue gracias a esta herramienta que dio resultado ya que, "Su aplicación consiste en comprometer colaboradores y ayudarles a desarrollar habilidades, como disciplina y organización, que garantizarán mucha más calidad y seguridad en el trabajo, además de mejorar el clima organizacional." (Reyes, J. 2020)

Las 5's hacen referencia a 5 palabras de origen Japones, las cuales tienen esta letra al principio de cada una, las cuales son: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke, que en español significan Clasificación, Organización, Limpieza, Estandarización y Disciplina.

### **1.1.2.3 Kanban**

Siag Consulting, ofrece la siguiente información con respecto al Kanban:

Un sistema Kanban controla idealmente toda la cadena de valor desde el proveedor hasta el consumidor final. De esta manera, ayuda a evitar la interrupción del suministro y el exceso de existencias de productos en diversas etapas del proceso de fabricación. Kanban requiere un monitoreo continuo del proceso. Se debe prestar especial atención para evitar los cuellos de botella que podrían ralentizar el proceso de producción. El objetivo es lograr un mayor rendimiento con tiempos de entrega más bajos. (Siag Consulting, 2018)

#### **1.1.2.4 Poka-Yoke**

Una definición simple de Poka-Yoke sería:

El término Poka-Yoke es una herramienta lean manufacturing que significa a prueba de errores. Permite detectar posibles errores y prevenirlos en el proceso de producción, con el objetivo de eliminar todos los defectos que necesitan un reproceso posterior para corregirlos, con el consiguiente aumento de costes y la pérdida de tiempo. El objetivo del Poka-Yoke es eliminar o evitar cualquier tipo de error, impidiendo que el operario se pueda equivocar. (Lean Manufacturing, s.f.-b)

### **1.2 Industria 4.0**

#### **1.2.1 Definición**

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, se refieren 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, p. 3; Ynzunza, et al., 2017)

#### **1.2.2 Simulación**

Según ITCL (2018) define a la simulación de la siguiente forma:

La simulación, utilizando sistemas informáticos, consiste en aplicar programas en los que podamos comprobar cómo funcionar un determinado sistema. También es posible testar comportamientos a través de este tipo de simulaciones. Lo que se intenta a través de esta técnica es recrear sistemas reales e hipotéticos a través de los que se pueda trabajar antes de sacar un producto al mercado. Aunque también la simulación es válida para analizar comportamientos humanos ante determinadas situaciones.

## **Metodología**

El diseño de esta investigación es cuantitativo, la recolección de los datos fue previa a esta investigación por parte del personal de la Universidad de Malaysia, los cuales consisten en el total de tiempo de operaciones en una línea de ensamble para la fabricación de convertidores de potencia, que para este caso, las limitantes que se muestran en el artículo del cual surge la creación de este, serán descartadas 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 para este caso, se hará uso de un software de simulación que lleva el nombre ProModel<sup>®</sup>, 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.

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 realizará una simulación de la línea de ensamble antes de realizar alguna implementación de mejora, de esta forma los datos obtenidos del procedimiento original servirán 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 gracias a esto.

## **Caso practico**

Para ejemplificar la aplicación del balanceo de una línea de producción, se utilizará 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-Canteli, 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. (Tiacchi, 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 de 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 & Suphaprucksapongse, 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)

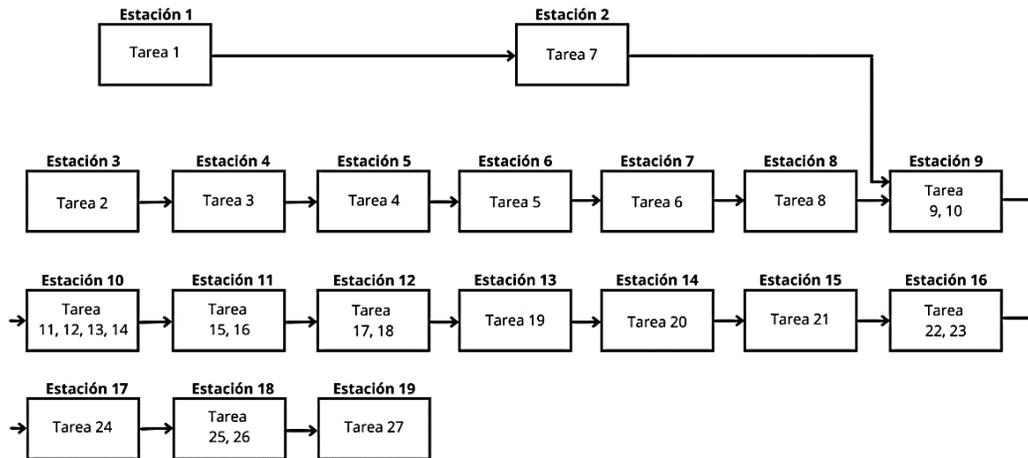
La línea de producción de la empresa tiene un total de 19 estaciones de trabajo, en las cuales, se reparten 27 tareas. Tiene un periodo de trabajo de 52 semanas, de las cuales se labora un total de 10 horas de lunes a viernes, con una hora de comida.

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:

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

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 recurso tomado de Kharuddin *et al.* 2020

Actividad	Tiempo de procesamiento (en minutos)	Actividad	Tiempo de procesamiento (en minutos)
1	0.2992	15	0.3305
2	0.3088	16	0.1547
3	0.4453	17	0.1758
4	0.302	18	0.0632
5	0.3485	19	0.2285
6	0.371	20	0.2898
7	0.188	21	0.375
8	0.144	22	0.1837
9	0.0917	23	0.0802
10	0.1425	24	0.1808
11	0.3008	25	0.356
12	0.1373	26	0.0277
13	0.04	27	0.4018
14	0.1545		

Adaptado de: Kharuddin *et al.* 2019

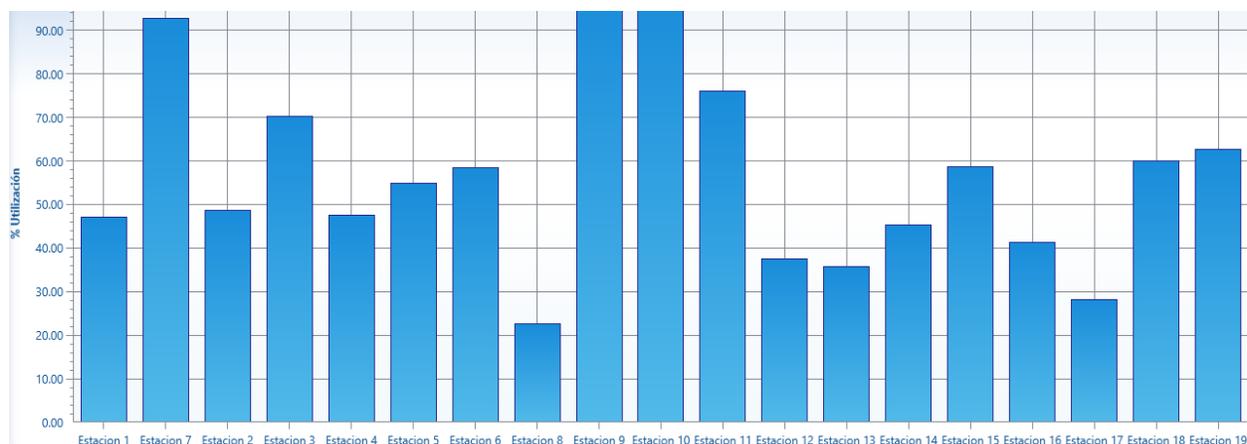
Una vez simulado el escenario, bajo las condiciones que se explicaron anteriormente, se obtuvo una producción por día de 845 unidades, cuando se recopilaron los datos después de la simulación, se analizó el comportamiento de cada una de las actividades en el proceso, con ayuda de la tabla y en la figura 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	% Utilización	Total Entradas	Estación	% Utilización	Total Entradas
<b>1</b>	47.29	853	<b>11</b>	76.24	849
<b>2</b>	92.94	852	<b>12</b>	37.53	848
<b>3</b>	48.82	854	<b>13</b>	35.96	848
<b>4</b>	70.28	853	<b>14</b>	45.51	848
<b>5</b>	47.65	852	<b>15</b>	58.82	847
<b>6</b>	55.05	852	<b>16</b>	41.37	847
<b>7</b>	58.47	851	<b>17</b>	28.36	846
<b>8</b>	22.69	851	<b>18</b>	60.14	846
<b>9</b>	99.91	851	<b>19</b>	62.91	845
<b>10</b>	99.60	850			

Fuente: Elaboración propia (2021)

Figura 2. Gráfica de utilización de las estaciones de trabajo



Fuente: Elaboración propia (2021)

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*

<b>Estación de trabajo</b>	<b>% Operación</b>	<b>% Inactivo</b>
1	47.19	52.82
7	29.66	70.34
2	48.82	51.18
3	70.28	29.72
4	47.65	52.35
5	55.05	44.95
6	58.47	41.53
8	22.69	77.31
9	36.84	63.16
10	99.60	0.40
11	76.24	23.76
12	37.53	62.47
13	35.96	64.04
14	45.51	54.49
15	58.82	41.18
16	41.37	58.63
17	28.36	71.64
18	60.14	39.86
19	62.91	37.09

Fuente: Elaboración propia (2021)

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

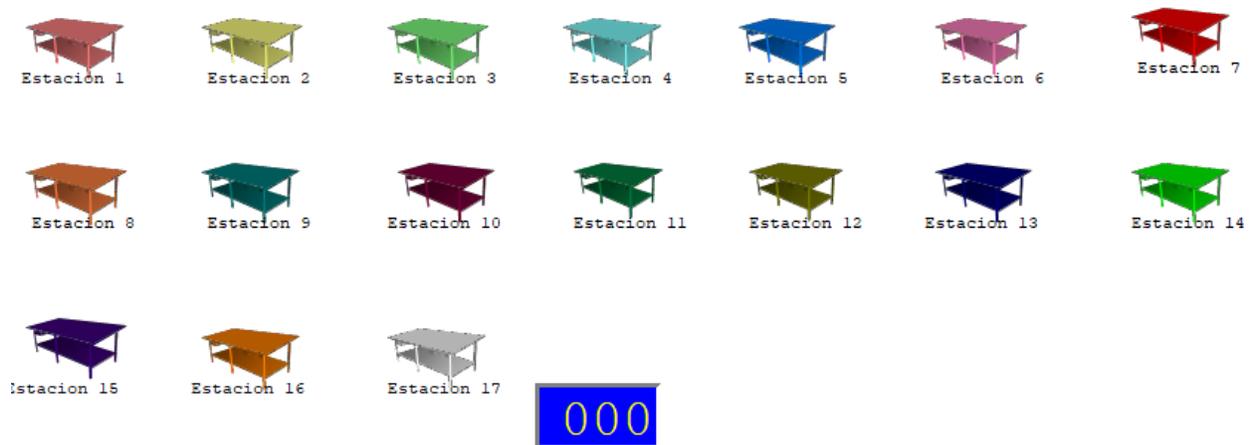
<b>Estación de trabajo</b>	<b>Tarea</b>	<b>Tiempo de tarea</b>	<b>Tiempo total de tarea</b>
1	1	0.2992	0.4432
	8	0.144	
2	2	0.3088	0.3088
3	3	0.4453	0.4453
4	4	0.302	0.302
5	5	0.3485	0.3485
6	6	0.371	0.371
7	7	0.188	0.4222
	9	0.0917	
	10	0.1425	
8	11	0.3008	0.3008
9	12	0.1373	0.3318
	13	0.04	
	14	0.1545	
10	15	0.3305	0.3305
11	16	0.1547	0.3937
	17	0.1758	
	18	0.0632	
12	19	0.2285	0.4122
	22	0.1837	
13	20	0.2898	0.2898
14	21	0.375	0.375
15	23	0.0802	0.2887
	24	0.1808	
	26	0.0277	
16	25	0.356	0.356
17	27	0.4018	0.4018

Fuente: Elaboración propia (2021)

## 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.

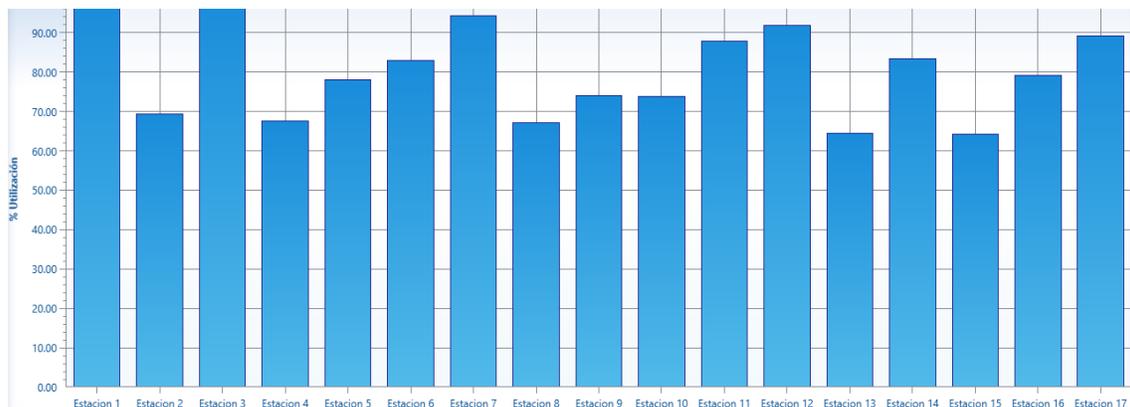
Figura 3. Layout de propuesta



Fuente: Elaboración propia (2021)

Al finalizar la simulación se obtienen 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.

Figura 4. Utilización de las estaciones de propuesta



Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla 5. Porcentaje de utilización y entradas de las estaciones de trabajo de propuesta

<b>Estación</b>	<b>% Utilización</b>	<b>Total Entradas</b>
1	99.55	1214
2	69.39	1213
3	99.86	1212
4	67.73	1211
5	78.21	1211
6	83.09	1210
7	94.44	1209
8	67.32	1208
9	74.21	1207
10	73.93	1207
11	87.95	1206
12	91.90	1205
13	64.65	1204
14	83.54	1203
15	64.34	1203
16	79.21	1202
17	89.39	1201

Fuente: Elaboración propia (2021)

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 de trabajo	% Operación	% Inactivo
1	99.55	0.45
2	69.39	30.61
3	99.86	0.14
4	67.73	32.27
5	78.21	21.79
6	83.09	16.91
7	94.44	5.56
8	67.32	32.68
9	74.21	25.79
10	73.93	26.07
11	87.95	12.05
12	91.90	8.10
13	64.65	35.35
14	83.54	16.46
15	64.34	35.66
16	79.21	20.79
17	89.39	10.61

Fuente: Elaboración propia (2021)

## Discusión

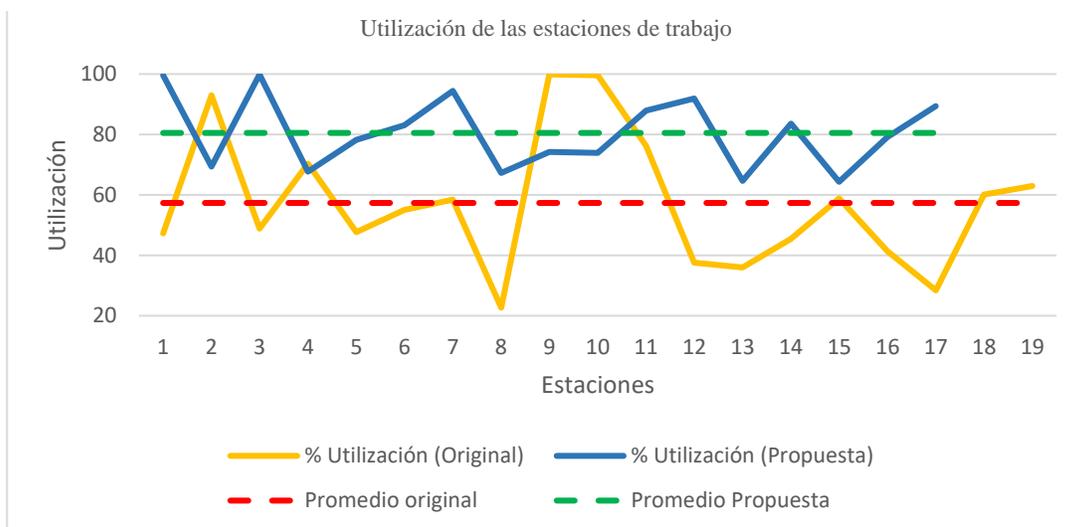
Considerando el objetivo que se tiene con este caso, el cual consiste en un aumento en la utilización de las estaciones de trabajo y reducir los cuellos de botella, con la intención de aprovechar el tiempo perdido entre cada una de las estaciones, debido a que estas no estaban cargadas de trabajo por igual, provocando los cuellos de botella que se pudieron ver con anterioridad, logrando así un aumento en las unidades producidas con base a el 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 al 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 (2021)

Además de lo anterior mencionado, con ayuda de las figuras 6 y 7, 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 grafico 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.

Figura 6. Información de estaciones de trabajo

Nombre	Tiempo Programado (Hr)	Capacidad	Total Entradas	Tiempo Por entrada Promedio (Min)	Contenido Promedio	Contenido Máximo	Contenido Actual	% Utilización
Estacion 1	9.00	1.00	1,214.00	0.44	1.00	1.00	1.00	99.55
Estacion 2	9.00	1.00	1,213.00	0.31	0.69	1.00	1.00	69.39
Estacion 3	9.00	1.00	1,212.00	0.44	1.00	1.00	1.00	99.86
Estacion 4	9.00	1.00	1,211.00	0.30	0.68	1.00	0.00	67.73
Estacion 5	9.00	1.00	1,211.00	0.35	0.78	1.00	1.00	78.21
Estacion 6	9.00	1.00	1,210.00	0.37	0.83	1.00	1.00	83.09
Estacion 7	9.00	1.00	1,209.00	0.42	0.94	1.00	1.00	94.44
Estacion 8	9.00	1.00	1,208.00	0.30	0.67	1.00	1.00	67.32
Estacion 9	9.00	1.00	1,207.00	0.33	0.74	1.00	0.00	74.21
Estacion 10	9.00	1.00	1,207.00	0.33	0.74	1.00	1.00	73.93
Estacion 11	9.00	1.00	1,206.00	0.39	0.88	1.00	1.00	87.95
Estacion 12	9.00	1.00	1,205.00	0.41	0.92	1.00	1.00	91.90
Estacion 13	9.00	1.00	1,204.00	0.29	0.65	1.00	1.00	64.65
Estacion 14	9.00	1.00	1,203.00	0.38	0.84	1.00	0.00	83.54
Estacion 15	9.00	1.00	1,203.00	0.29	0.64	1.00	1.00	64.34
Estacion 16	9.00	1.00	1,202.00	0.36	0.79	1.00	1.00	79.21
Estacion 17	9.00	1.00	1,201.00	0.40	0.89	1.00	1.00	89.39

Fuente: Elaboración propia (2021)

Nombre	Tiempo Programado (Hr)	Capacidad	Total Entradas	Tiempo Por entrada Promedio (Min)	Contenido Promedio	Contenido Máximo	Contenido Actual	% Utilización
Estacion 1	9.00	1.00	853.00	0.30	0.47	1.00	1.00	47.29
Estacion 7	9.00	1.00	852.00	0.59	0.93	1.00	1.00	92.94
Estacion 2	9.00	1.00	854.00	0.31	0.49	1.00	1.00	48.82
Estacion 3	9.00	1.00	853.00	0.44	0.70	1.00	1.00	70.28
Estacion 4	9.00	1.00	852.00	0.30	0.48	1.00	0.00	47.65
Estacion 5	9.00	1.00	852.00	0.35	0.55	1.00	1.00	55.05
Estacion 6	9.00	1.00	851.00	0.37	0.58	1.00	0.00	58.47
Estacion 8	9.00	1.00	851.00	0.14	0.23	1.00	0.00	22.69
Estacion 9	9.00	1.00	851.00	0.63	1.00	1.00	1.00	99.91
Estacion 10	9.00	1.00	850.00	0.63	1.00	1.00	1.00	99.60
Estacion 11	9.00	1.00	849.00	0.48	0.76	1.00	1.00	76.24
Estacion 12	9.00	1.00	848.00	0.24	0.38	1.00	0.00	37.53
Estacion 13	9.00	1.00	848.00	0.23	0.36	1.00	0.00	35.96
Estacion 14	9.00	1.00	848.00	0.29	0.46	1.00	1.00	45.51
Estacion 15	9.00	1.00	847.00	0.38	0.59	1.00	0.00	58.82
Estacion 16	9.00	1.00	847.00	0.26	0.41	1.00	1.00	41.37
Estacion 17	9.00	1.00	846.00	0.18	0.28	1.00	0.00	28.36
Estacion 18	9.00	1.00	846.00	0.38	0.60	1.00	1.00	60.14
Estacion 19	9.00	1.00	845.00	0.40	0.63	1.00	0.00	62.91

Fuente: Elaboración propia (2021)

Con base a los porcentajes obtenidos, de inactividad y operación, a partir de la implementación de la mejora, y con ayuda del cálculo de la correlación entre estos datos, cuya grafica se muestra en la figura 8, se aprecia una correlación perfecta negativa, debido a que el valor de “Ro”  $\rho = -1$ , se puede apreciar en la tabla 7 dicho dato, donde  $\beta_0 = 100$  y  $\beta_1 = -1$ .

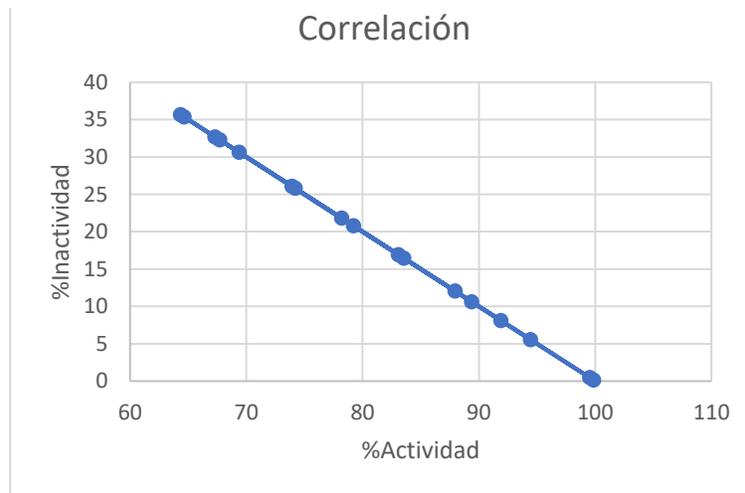
Tabla 7. Coeficiente de correlación

		<b>Coeficientes</b>
<i>Intercepción</i>		100
<i>% Inactivo</i>		-1

$$y = \beta_0 + B_1x$$

Fuente: Elaboración propia (2021)

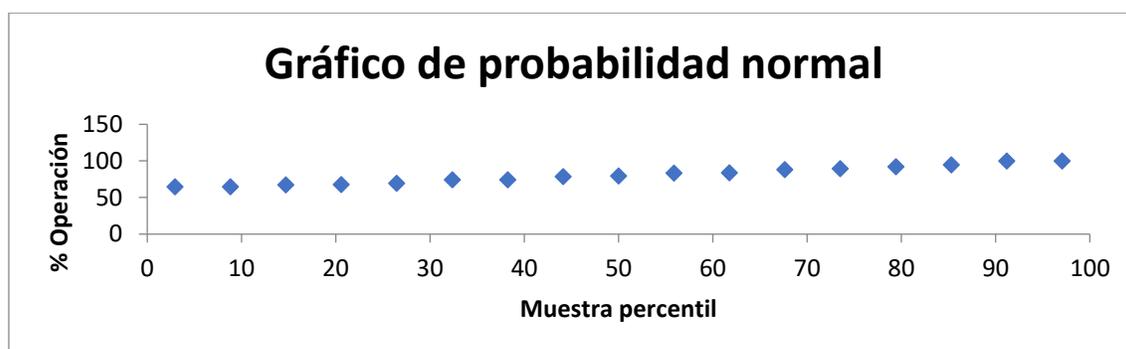
Figura 8. Gráfica de correlación



Fuente: Elaboración propia (2021)

Los percentiles del porcentaje de operación, obtenidos a partir de los datos después de la mejora, pueden observarse en la tabla 8, el cálculo de dichos percentiles puede llevarse a cabo ya que los datos del porcentaje de operación presentan una distribución normal, tal como se muestra en la figura 9.

Figura 9. Gráfica de distribución normal de % de Operación



Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla 8. Percentiles del % de Operación

Percentil	% Operación
2.94117647	64.34
8.82352941	64.65
14.7058824	67.32
20.5882353	67.73
26.4705882	69.39
32.3529412	73.93
38.2352941	74.21
44.1176471	78.21
50	79.21
55.8823529	83.09
61.7647059	83.54
67.6470588	87.95
73.5294118	89.39
79.4117647	91.9
85.2941176	94.44
91.1764706	99.55
97.0588235	99.86

Fuente: Elaboración propia (2021)

Además, se muestra en la tabla 9, los residuales para cada una de las operaciones dentro de la línea de ensamble de convertidor de potencia, y con la figura 10, se pueden ubicar cada una de las áreas de oportunidad para realizar una nueva mejora.

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.

Tabla 9. Residuales del % de operación en la línea de ensamble

Observación	Pronóstico % Operación	Residuos	Residuos estándares
1	99.55	0	0
2	69.39	1.42109E-14	1.632993162
3	99.86	0	0
4	67.73	1.42109E-14	1.632993162
5	78.21	0	0
6	83.09	0	0
7	94.44	0	0
8	67.32	0	0
9	74.21	0	0
10	73.93	1.42109E-14	1.632993162
11	87.95	1.42109E-14	1.632993162
12	91.9	0	0
13	64.65	1.42109E-14	1.632993162
14	83.54	1.42109E-14	1.632993162
15	64.34	0	0
16	79.21	0	0
17	89.39	0	0

Fuente: Elaboración propia (2021)

Figura 10. Gráfico de residuales del % de operación en la línea de ensamble



Fuente: Elaboración propia (2021)

## **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, podemos 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.

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

- Álvarez, A. (2014). *Tiempo de ciclo*. QE2 Ingeniería. [Tiempo de ciclo | QE2 eConsulting Consultoría e ingeniería \(qe2ingenieria.com\)](http://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-Pastor-de-Céspedes, E., y Díaz-Garay, B., y Kleeberg-Hidalgo, F., y Noriega-Aranibar, 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 Informatico. (2017). *Industria 4.0, la cuarta revolución industrial y la inteligencia operacional*. [Industria 4.0 la cuarta revolución industrial inteligente \(cic.es\)](http://cic.es)
- Das, B., Sanchez-Rivas, J.M., Garcia-Diaz, A., y 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.
- 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. \(leanmanufacturing10.com\)](http://leanmanufacturing10.com)

Lean Manufacturing. (s.f.-b). *¿Qué es Poka Yoke? Como aplicarlo en un proceso de producción.* [Poka-Yoke. ¿Qué es y cómo se puede aplicar en una fábrica? \(leanmanufacturing10.com\)](http://leanmanufacturing10.com)

Make, M.R.A., & Rashid M.F.F.A., & Razali, M.M. (2017). A Review of Two-Sided Assembly Line Balancing Problem. The international Journal of Advanced Manufacturing Technology. 89(5-8), 1743-1763.

Mañana-Canteli, 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? \(leanconstructionmexico.com.mx\)](http://leanconstructionmexico.com.mx)

Reyna. M. (2017). Balanceo de línea [Diapositiva de PowerPoint]. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. [Presentación de PowerPoint \(uaeh.edu.mx\)](http://uaeh.edu.mx)

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 Perea, R. S., y Ardanza Zulueta, 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.

Siag Consulting. (2018, Octubre). *Kanban, ¿cómo se aplica la metodología?* [Kanban, ¿cómo se aplica la metodología? – Siag Consulting](http://siagconsulting.com)

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 \(redalyc.org\)](http://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., & 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.