

# IMPACTO DE UN SISTEMA VISUAL DE INFORMACIÓN EN UN PROCESO DE ENSAMBLE

## IMPACT OF VISUAL INFORMATION SYSTEM IN AN ASSEMBLY PROCESS

Lisaura Rodríguez Alvarado<sup>1,♦</sup>, Jesús Loyo Quijada<sup>2</sup>, Miguel Magos Rivera<sup>3</sup>, Miguel Ángel López Ontiveros<sup>4</sup>, José Antonio Lara Chávez<sup>5</sup>

### RESUMEN

En muchos procesos industriales en los cuales el ensamblado de piezas está involucrado, los operadores no cuentan con información en tiempo real del ritmo de producción que llevan. En este artículo se estudia el efecto sobre el rendimiento de los operadores cuando éstos cuentan con información sobre el cumplimiento de los objetivos que les fueron encomendados, para esto, se realizaron dos casos de estudio; en primer lugar, se ensambló una chapa metálica y posteriormente, un soporte para soldar. En ambos casos, se realizó el experimento primero sin ningún tipo de información y posteriormente se incorporó un Sistema Visual de Información. Se efectuó un análisis cuantitativo sobre el efecto que se tuvo en los indicadores claves del proceso al contar con información y sin ella. Adicionalmente, se realizó un análisis cualitativo sobre la percepción que los usuarios tuvieron del sistema de información visual. Los resultados demuestran que, el sistema contribuyó a mejorar la calidad de las piezas ensambladas y a disminuir el tiempo ocioso, al permitir detectar anomalías dentro del proceso. Por otro lado, los operadores valoraron favorablemente el sistema ya que, determinaron que el nivel de estrés y atención disminuyó, cuando se contaba con información en tiempo real.

**Palabras clave:** Indicadores clave, proceso ensamble, ritmo de producción, Sistema Visual de Información.

---

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Metropolitana. Dpto. de Sistemas., México. México. lwra@azc.uam.mx. [orcid.org/0000-0002-1653-4643](https://orcid.org/0000-0002-1653-4643)

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Metropolitana. Dpto. de Sistemas., México. México. lqj@azc.uam.mx. [orcid.org/0000-0002-2713-723X](https://orcid.org/0000-0002-2713-723X)

<sup>3</sup>Universidad Autónoma Metropolitana. Dpto. de Electrónica., México. México. mrm@azc.uam.mx. [orcid.org/0000-0001-6942-5275](https://orcid.org/0000-0001-6942-5275)

<sup>4</sup>Universidad Autónoma Metropolitana. Dpto. de Sistemas., México. México. mllopez@azc.uam.mx. [orcid.org/0000-0001-9377-9639](https://orcid.org/0000-0001-9377-9639)

<sup>5</sup>Universidad Autónoma Metropolitana. Dpto. de Sistemas., México. México. jalch@azc.uam.mx. [orcid.org/0000-0001-9199-1492](https://orcid.org/0000-0001-9199-1492)

♦Autor para correspondencia : lwra@azc.uam.mx

## ABSTRACT

In many industrial processes in which the assembly of parts is involved, operators do not have real-time information on the rate of production they are carrying. This article studies the effect on the performance of the operators when they have information on the fulfillment of the objectives that were entrusted, for this, two case studies were carried out; First, a metal sheet was assembled and later, support for welding. In both cases, the experiment was carried out first without any type of information and later a Visual Information System was incorporated. A quantitative analysis was carried out on the effect that was produced in the key indicators of the process when having information and without it. In addition, a qualitative analysis was carried out on the perception that users had of the visual information system. The results show that the system contributes to improving the quality of the assembled parts and reducing idle time, by allowing the detection of abnormalities within the process. On the other hand, the operators valued the system favorably since they determined that the level of stress and attention decreased when there was information in real time.

**Keywords:** Key indicators, assembly process, production rate, Visual Information System

## INTRODUCCIÓN

Los procesos productivos existentes en cualquier planta manufacturera están expuestos a una infinidad de situaciones las cuales pueden alterar los tiempos establecidos para ensamblar o fabricar un producto. Algunas de las situaciones que se pueden mencionar son: tiempos muertos, errores en el flujo productivo, retrasos en la alimentación de insumos, acumulación de inventarios y distracción del personal, entre otras más (Boysen *et al.*, 2007).

Con la finalidad de lograr una operación eficiente de los procesos productivos, se ha buscado alcanzar un equilibrio entre las tareas asignadas a los operadores y las acciones que los equipos automatizados realizan. Diversas metodologías han sido presentadas en la última década para el estudio del balanceo de líneas de producción (Rincón-Mora *et al.*, 2014; Zupan & Herackovic, 2015; Kumar & Mahto, 2013; Ramírez-Campos *et al.*, 2010; Wei & Chao, 2011; Kucukkoc & Zhang, 2015). Varias de las técnicas propuestas para el balanceo de las líneas, emplean como herramienta el denominado: estudio de tiempos y movimientos.

La aparición de equipos electrónicos dedicados a la automatización de procesos ha permitido minimizar algunos de los problemas que anteriormente afectaban la productividad de las plantas. Sin embargo, aun en sistemas con alto grado de automatización, la intervención de algunos operadores sigue siendo indispensable. De esta forma, aunque en menor medida, se tiene que la confiabilidad del personal sigue siendo un factor que afecta a los índices de productividad a nivel industrial.

Los modernos equipos electrónicos encargados de la operación automática de los procesos manejan, para su operación, una gran cantidad de información. Se tienen los sensores que

generan datos asociados al estado de las variables de los procesos, los cuales alimentan a los algoritmos de control programados en los controladores. También están las señales que sirven para el accionamiento de los diversos actuadores instalados en la planta, los cuales se encargan de dosificar, ya sea algún tipo de energía o bien materia prima, a las líneas de producción. Hasta hace algunos años, estas señales eran de uso exclusivo de los equipos encargados del control de las líneas de producción; a lo más se compartía información con alguna alarma o con torretas luminosas que, mediante un código de colores, indicaban al personal el estado del proceso en algunas secciones de la planta. En el sector industrial, estos sistemas son conocidos como sistemas ANDON, término japonés que significa lámpara (Suárez, 2015). La aplicación en la industria de este tipo de sistemas ha sido reportada por distintos (Liker, 2011; Ohno, 1991).

En los últimos años algunos fabricantes de sistemas ANDON han transitado de indicadores luminosos o audibles, a grandes tableros electrónicos que despliegan de forma clara y en tiempo real, parámetros relacionados con la producción. Estos Sistemas Visuales de Información permiten a los supervisores dar seguimiento al plan de producción y sirven de soporte para tomar decisiones (Socconini, 2011). Una función adicional que, algunas empresas han explorado con este tipo de equipos, es el desplegar información dirigida a los operadores para que observen si están cumpliendo con los tiempos establecidos para las actividades que les fueron asignadas. Lo anterior puede afectar de diversas formas el desempeño de los trabajadores, por un lado, contribuye a hacer cumplir en tiempo las actividades, pero también puede representar un factor de estrés.

El rol que juegan las habilidades humanas en los procesos productivos y cómo éstas pueden representar un factor importante en la incorporación de nuevas tecnologías, ha sido estudiado por diversos investigadores. Romero *et al.* (2015), han establecido que el objetivo final de una simbiosis de automatización humana, es el logro de la automatización adaptativa en todas las áreas de trabajo de un sistema de producción centrado en el ser humano. Lo anterior, con la finalidad de permitir una transición dinámica y sin problemas de asignación de funciones. Por otro lado, Nardo *et al.* (2020) han indicado que, las habilidades humanas son esenciales en el proceso que conduce a la fase de toma de decisiones. Pero, como es de esperarse, al incorporar nuevas tecnologías en los procesos, es necesario considerar una fase de adaptación al cambio y reasignación de recursos, por lo tanto, es necesario evaluar el impacto no solo a nivel proceso, sino también operativo.

Salas *et al.* (2017) han determinado que los errores humanos están asociado a un conjunto de factores, los cuales pueden ir desde la capacidad física y emocional del individuo hasta el ambiente externo e interno de la empresa. Además, se debe considerar que, en la interacción hombre-máquina, se pueden presentar errores de omisión, acción, selección, secuencia, temporalidad, entre otros. Uno de los métodos para el análisis de confiabilidad humana es el THERP (Técnica para la Predicción de la Tasa de Error Humano, por sus siglas en inglés). Bajo este concepto, Heiner (2005) establece la probabilidad del error humano en un proceso de fabricación y a partir de esto se derivan medidas de mejoras. Pons *et al.* (2013) han analizado la aplicabilidad del AFH (Análisis de la Fiabilidad Humana) en proyectos de mejoramientos, con el enfoque de evitar accidentes y fallos. Por su parte, Ruiz y Trujillo (2012) han establecido que, al incorporar aspectos que permiten el conocimiento e interacción del comportamiento humano y diversas variaciones que lo determinan, mejoran el cálculo de probabilidad de error. Las mejoras tecnológicas se reflejan en un aumento de la productividad en las industrias, lo anterior mediante la optimización de los procesos de control, el uso de sistemas de toma de decisiones autónoma, la introducción de herramientas de asistencia computacional, así como mediante la colaboración extendida hombre máquina

(Till & Hendrik, 2016).

En investigaciones previas se han realizado análisis de confiabilidad humana y de factores que influyen en el error humano, esto con el objetivo de relacionarlos con la mejora de la productividad. *Báez et al.* (2013) han explicado el error humano mediante la correlación de factores influyentes en el comportamiento de los operadores. Los autores emplearon este método para construir modelos de confiabilidad humana enfocados en plantas de montaje. A su vez, *García* (2015) propuso realizar el análisis de confiabilidad humana tomando en cuenta los programas de formación y desarrollo; siempre teniendo como objetivo el minimizar costos e impactar en la sostenibilidad de la empresa.

El concepto de Industria 4.0 traerá consigo cambios estructurales en la forma de funcionar y operar los procesos productivos en un futuro cercano. Esto debido a que, hay una tendencia creciente en aprovechar los datos para respaldar los objetivos operativos; demostrando que los sistemas ciberfísicos están teniendo mayor impacto en el entorno industrial (*Löffler & Tschiesner*, 2013; *Al-Gumaei et al.*, 2018). La incorporación de sistemas de automatización implicará una nueva relación entre las máquinas y los operadores. Así mismo, los avances tecnológicos en sistemas de visualización están haciendo que el uso de éstos en las fábricas vaya en aumento (*Xing & Yu*, 2010; *Holm*, 2018).

En el presente trabajo, se analiza la importancia de contar con información en tiempo real de un proceso y evaluar la afectación directa en el cumplimiento del tiempo estándar, al considerar variaciones en el ritmo de producción. Fueron dos los casos de estudio realizados, en el primero se ensambló una chapa metálica, mientras que, en el segundo, se armó un soporte para soldar. En ambos ejercicios, se realizó el experimento sin y con el uso de un Sistema Visual de Información.

## MATERIAL Y MÉTODO

### Descripción general del estudio

Para analizar el efecto que un Sistema Visual de Información tiene en la operación de una línea de producción, se utilizó un caso de estudio: se simuló el proceso de ensamble de dos productos: una chapa metálica y un soporte para soldar. Se evaluó la importancia de contar con información en tiempo real tanto para el proceso, mediante el análisis cuantitativo de los indicadores claves; como para el operador, con ayuda de un análisis cualitativo de la percepción de éste con el sistema de información.

Para el análisis cuantitativo del desempeño del proceso, se consideraron los siguientes indicadores: tiempo ocioso, tiempo de producción, calidad de las piezas ensambladas y monitoreo de la inspección final. Mientras que, para el análisis cualitativo, se tomaron en cuenta las características que debe tener una fábrica visual (*Erazo*, 2106), a partir de las cuales se evaluó el efecto del Sistema Visual de Información en la ejecución y desempeño de las actividades de ensamble y su impacto en el nivel de estrés y sentido de alerta. Por otro

lado, tomando como referencia los factores humanos y ergonómicos planteados por Salvendy (2012), se inspeccionaron aspectos ergonómicos de sistemas hombre-máquina, tales como: secuencia de información desplegada en pantallas y el impacto de esta información en el desempeño del operador, como es el logro de objetivos e identificación de incidencias en el proceso. Todo esto fue evaluado en el entorno: tarea- operador - máquina.

Ambos análisis se realizaron bajo dos escenarios; primero los operadores realizan sus actividades sin tener acceso a la retroalimentación que el sistema podría proporcionarles. En el segundo escenario se realiza el proceso de ensamble contando con la información proporcionada por el Sistema Visual de Información, de forma tal que, puedan tomar decisiones que contribuyan a la mejora de su trabajo y del proceso, tales como: acelerar su ritmo de producción, detectar donde se genera el cuello de botella, verificar errores de calidad etc.

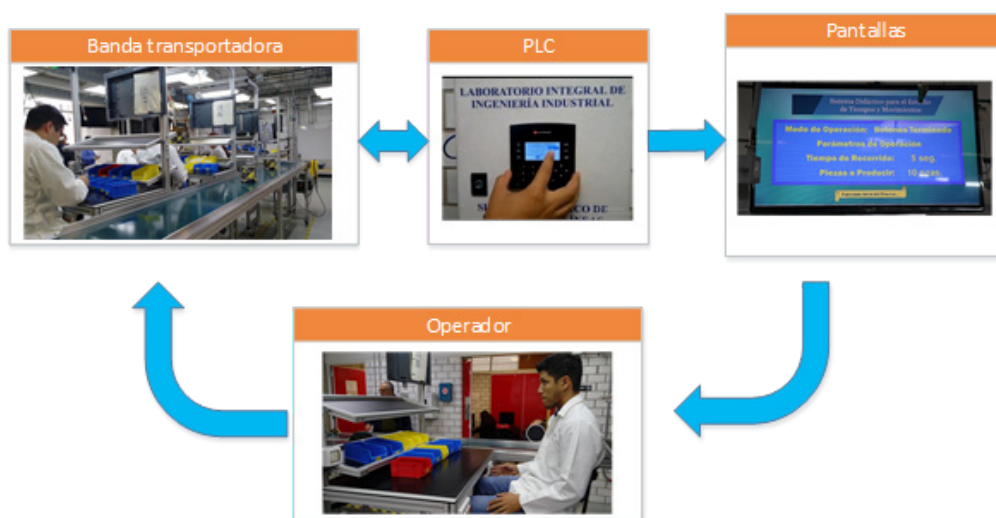
### **Línea de ensamble**

La línea de ensamble está compuesta por una banda transportadora y a un costado de ésta, tres estaciones de trabajo (Lara *et al.*, 2017). La banda transportadora se encarga de desplazar los elementos a ensamblar a las estaciones de trabajo y se mantiene detenida en ese punto hasta que todos los operadores indican, accionando un botón de fin de tarea, que han concluido la tarea asignada y que el sub-ensamble ha sido colocado sobre la banda. Una vez que lo anterior se ha llevado a cabo, el motor de la banda se enciende de forma automática permitiendo trasladar las piezas al siguiente puesto. El control del movimiento de la banda transportadora se realiza con ayuda de un Controlador Lógico Programable (PLC, por sus siglas en inglés), el cual recibe las señales de los botones y activa un variador de velocidad asociado al motor.

### **Sistema visual de información**

Son dos los elementos que conformaron al Sistema Visual de Información, el primero es una pantalla LCD de 49" y el segundo un módulo de comunicación. Este último se encuentra conectado con el PLC el cual se encarga de controlar las secuencias operativas de la banda, esto con el objetivo de obtener información de las variables asociadas al proceso de ensamble. Con base en los datos recibidos, el módulo genera los mensajes a ser desplegados en la pantalla, los cuales permiten a los operadores monitorear parámetros tales como: piezas a ensamblar, piezas elaboradas, tiempos por estación, etc. El intercambio de información entre el Sistema Visual de Información y el PLC se realiza mediante una red de área local y bajo el protocolo de comunicación industrial Modbus.

En la Figura 1, se presenta el esquema general del funcionamiento de la línea de ensamble y el Sistema Visual de Información.



**Figura 1:** Esquema general del funcionamiento del sistema.

## Proceso de ensamblado

Los casos de estudios realizados son una representación real del proceso de ensamble de dos productos: una chapa de acero inoxidable y un soporte para soldar.

Los operadores fueron los encargados de suministrar la materia prima (material semiprocesado) para realizar el ensamble de los productos, mientras que los analistas se encargan de supervisar el proceso y realizar el registro de información. Para desarrollar la dinámica se conformaron equipos de trabajo de 6 integrantes en cada caso de estudio, desempeñando roles de operadores y analistas. Se seleccionaron estos dos casos de estudio, porque los procesos de ensamble se consideran de mediana complejidad. Los dos casos evaluados representan aproximadamente un 25% de todos los procesos evaluados a lo largo de un año. El entorno bajo el cual se desarrollan estos casos prácticos considera una evaluación continua del comportamiento de procesos de ensamble, el cual representa la actividad principal del área donde se llevan a cabo dichos procesos, pero el objeto de interés en este estudio es una evaluación del impacto que se tiene, tanto sobre los operadores como sobre los procesos el incorporar sistemas visuales de información. La tarea inicial fue establecer el tiempo estándar de cada estación de trabajo.

## Tiempo estándar del proceso de ensamble

Para realizar el cálculo del tiempo estándar de la chapa metálica, se propuso un esquema con 3 estaciones de trabajo colocadas en serie con un operador en cada una de éstas; mientras que, para el ensamble del soporte para soldar se consideró una línea de producción con 2 estaciones también en serie.

Primeramente, se llevaron a cabo 4 ciclos de ensamble con 10 repeticiones cada uno. Lo anterior permitió garantizar que los participantes fueran considerados como operadores medios calificados. Posteriormente, para obtener el tiempo normal, al registro de tiempos de cada estación de trabajo se le asignó una calificación de desempeño mediante el sistema de evaluación Westinghouse. Finalmente, se agregaron intervalos de tiempo con el fin de

compensar las demoras derivadas de la fatiga; lo anterior se realizó para cada uno de los elementos<sup>1</sup> a ensamblar (Andrade *et al.*, 2019). Tanto los analistas como los operadores definieron los elementos que se ensamblarían en cada estación. Para esto, se consideró un conjunto de actividades que no sobrepasara los 100 segundos, que fuese de fácil identificación para los analistas y que estuviese definido por un punto inicial y terminal dentro del proceso. El resumen de los cálculos y consideraciones del tiempo estándar para ambos productos, se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Tiempo estándar por estación de trabajo

Concepto	Chapa metálica										Soporte para soldar				
	Estación 1			Estación 2			Estación 3				Estación 1		Estación 2		
Elemento (E)	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E1	E2	E3
Tiempo promedio	4,07	6,71	5,57	11,51	3,99	4,95	8,27	4,11	1,27	3,78	41,82	30,55	43,01	15,5	12,97
Factor de calificación	0,13	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,09	0,09	0,11	0,08	0,02
Tiempo Normal	<b>4,60</b>	<b>7,78</b>	<b>6,46</b>	<b>13,35</b>	<b>4,63</b>	<b>5,74</b>	<b>9,59</b>	<b>4,77</b>	<b>1,47</b>	<b>4,38</b>	<b>45,58</b>	<b>33,30</b>	<b>47,74</b>	<b>16,74</b>	<b>13,23</b>
% de suplementos	0,18	0,09	0,09	0,09	0,17	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,16	0,14	0,22	0,16	0,15
Tiempo estándar elemento	<b>5,43</b>	<b>8,48</b>	<b>7,04</b>	<b>14,55</b>	<b>5,42</b>	<b>6,26</b>	<b>10,46</b>	<b>5,20</b>	<b>1,61</b>	<b>4,78</b>	<b>52,88</b>	<b>37,96</b>	<b>58,24</b>	<b>19,42</b>	<b>15,21</b>
Tiempo estándar estación	<b>20,95</b>			<b>26,23</b>			<b>22,04</b>				<b>90,84</b>		<b>92,88</b>		

Como puede observarse, la propuesta inicial de distribución de línea, 3 estaciones para el ensamble de la chapa metálica y 2 para el soporte para soldar, establece un proceso de ensamble balanceado, que evita cuellos de botellas y tiempos de demora. La Figura 2, muestra las distribuciones de estaciones de trabajo para los dos productos a ensamblar.



**Figura 2.** Distribución de las líneas de ensamble.  
 a) Chapa metálica. b) Soporte para soldar.

### Simulación del proceso de ensamble

El principal objetivo de la simulación fue evaluar el impacto de contar en tiempo real con información sobre el desarrollo del proceso de ensamble, para esto, el ejercicio se dividió en dos etapas, mismas que se describen a continuación:

<sup>1</sup>Un elemento es un conjunto de movimientos u operaciones en los cuales se divide un proceso de ensamble para facilitar su análisis en el estudio de tiempo y movimientos

## Simulación sin Sistema Visual de Información

En la primera etapa los operadores realizaron las tareas que les fueron asignadas, pero sin contar con información sobre el avance del proceso. Es importante mencionar, que cada estación cuenta con el material necesario para realizar sus actividades. También se debe recordar que, la banda transportadora desplazará los sub-ensambles a la siguiente estación, una vez que todos los operadores han accionado su botón de tarea finalizada. Lo anterior implica que el ritmo de trabajo de la línea de ensamble se mueve de acuerdo a la estación cuello de botella, esto genera tiempos de demora, pero evita la acumulación de material en las estaciones.

El proceso se desarrolló con operadores que desconocen el tiempo real empleado en cada una de las estaciones, es decir, no saben si se está cumpliendo con el tiempo estándar establecido. En este caso de estudio, son los analistas los que cronometran los tiempos de producción y tiempos de demora en cada estación (Figura 3). Bajo este contexto, y con ayuda de formatos previamente establecidos se registró la información del proceso para, posteriormente, evaluar el nivel de estrés, sentido de alerta, tiempo ocioso, calidad de las piezas de ensamble y tiempo de producción. El proceso continúa de esta forma hasta que se completa un lote de 10 unidades para cada producto.



**Figura 3.** Analistas en las estaciones de ensamble.

## Simulación con Sistema Visual de Información

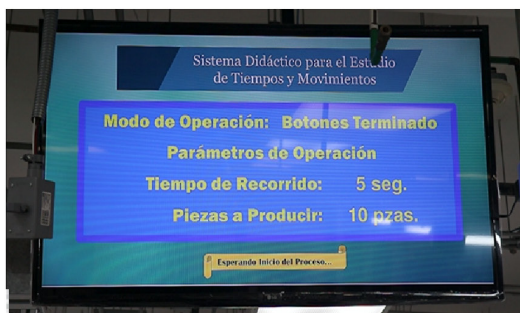
En la segunda etapa, los operadores realizan las tareas que les fueron asignadas, pero en este caso cuentan con el Sistema Visual de Información. En este caso, antes de iniciar la producción, se muestran en la pantalla las condiciones bajo las cuales fue configurado el control del proceso. Para el ejercicio que se presenta el tiempo de recorrido entre estaciones se ajustó a 5 segundos, mientras que la meta de producción a cumplir fue de 10 piezas.

Una vez que se inicia la operación de la línea de ensamble, el sistema despliega de forma continua la información correspondiente al número de piezas producidas en todo momento, así como los tiempos empleados en cada estación para la realización de sus actividades en el último ciclo de ensamble. De esta manera, el sistema de visión permite realizar un monitoreo continuo del proceso, así los operadores pueden reaccionar para cumplir con el tiempo estándar establecido, por tal motivo, no fue necesario evaluar el nivel de estrés y sentido de alerta. El tiempo de producción, calidad de las piezas ensambladas, toma de decisiones y presión por cumplimiento en el tiempo de entrega por parte de los operadores, se registró en formatos previamente establecidos para su posterior análisis y evaluación.

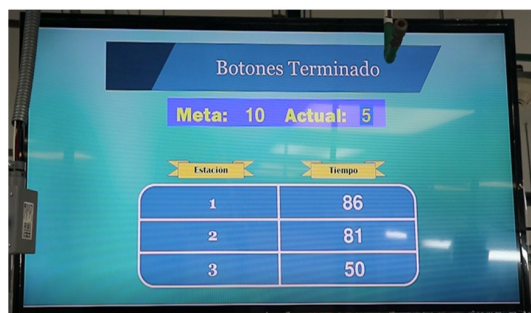


El ciclo de trabajo se repitió hasta completar el ensamblado de las 10 piezas solicitadas. La Figura 4, muestra la pantalla con la configuración de los parámetros de operación para la línea de producción, así como la correspondiente al monitoreo del proceso de ensamblado. En ésta última, se observaron los tiempos de cada puesto al momento de completar la producción de 5 piezas.

(a)



(b)



**Figura 4.** Pantallas del Sistema de Visualización.

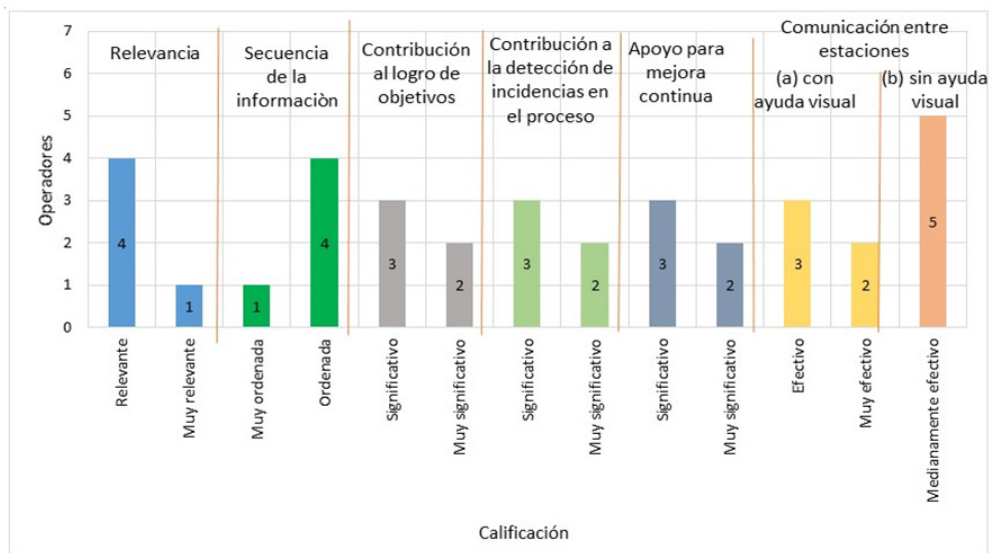
a) Parametros de operación b) Monitoreo del proceso de ensamble

Al igual que en la simulación sin Sistema Visual de Información, cada estación cuenta con el material necesario para realizar sus actividades y la banda transportadora desplazará los sub-ensambles a la siguiente estación, una vez que todos los operadores han accionado su botón de tarea finalizada, esto último implica que, de nuevo, el ritmo de trabajo de la línea se mueve de acuerdo a la estación cuello de botella.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Evaluación de las características del Sistema Visual de Información

Una vez realizada la simulación de ambas etapas, los operadores evaluaron las características del sistema en seis categorías, respecto al funcionamiento del sistema y el impacto que este representa sobre la identificación de mejoras en el proceso de ensamble. Los resultados se muestran en la Figura 5.



**Figura 5.** Evaluación del Sistema Visual de Información

**Relevancia y secuencia de información:** 4 de 5 operadores señalaron que la información visual de las pantallas como: tiempo de proceso y piezas ensambladas, es relevante y que se presenta de una manera ordenada, es decir que es de fácil interpretación.

**Contribución al logro de objetivos:** Los operadores involucrados en el proceso consideraron que la información visual apoya de manera muy significativa y significativa para el cumplimiento de objetivos y realización de sus actividades.

**Incidencias del proceso:** Resultados similares a la categoría anterior se tuvieron en la evaluación de incidencias del proceso. La mayoría de los operadores opinaron que la información proporcionada por el sistema visual de información les permitió detectar rápidamente incidencias en el proceso como problemas de calidad o ensamble mal realizado. Esta situación puede visualizarse considerando la cantidad de piezas inspeccionadas obtenido en ambas simulaciones.

**Apoyo para mejora continua:** Los operadores responsables de la línea de ensamble catalogaron al sistema visual de información como una herramienta que apoya de forma muy significativa y significativa en la detección las fallas y los retrasos, así como las áreas de oportunidad que contribuyan a la mejora continua del proceso, como es el mantener un ritmo estable de trabajo y evitar acumulación de tiempo ocioso.

**Comunicación entre estaciones:** Finalmente, los operadores consideraron que el contar con el sistema visual de información contribuyó de forma efectiva y muy efectiva a la comunicación entre ellos, lo que permitió mejorar los indicadores del proceso. Al no considerar el sistema visual de información, cinco operadores establecieron que la comunicación entre ellos, se desarrolló de una manera, medianamente efectiva, lo que tuvo una afectación directa en los indicadores del proceso.

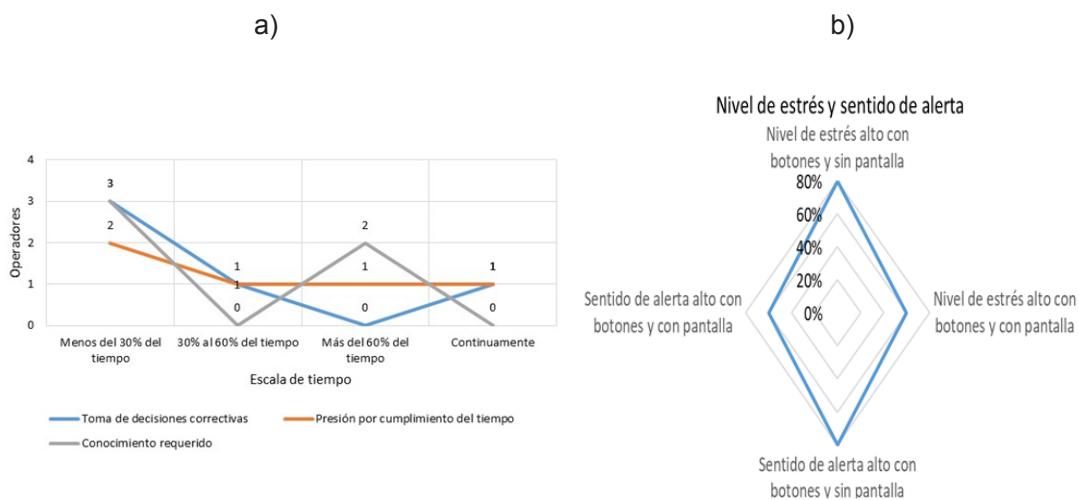
Esta evaluación del sistema de información, viene a reforzar el planteamiento establecido por Till y Hendrik (2016), quienes establecen que, los sistemas de producción híbridos son

cada vez más comunes, donde se combina la flexibilidad humana para conectar partes automatizadas de la producción. Por otro lado, el evaluar la interacción hombre-máquina permite establecer escenarios para la adaptabilidad del operador y el proceso, tal y como lo mencionan Romero *et. al* (2015), donde establece que, al realizar una asignación de funciones dinámicas entre operadores y máquinas (como corresponde al presente caso de análisis), la carga de trabajo del operador, basada en medidas psicofisiológicas, se debe regular en torno a un nivel óptimo, el cual involucre la simbiosis entre hombre-máquina.

Otro aspecto que se corroboró fue lo planteado por Erazo (2016), quien establece que, al proporcionar información relevante a través de señales visuales, esta tendrá un impacto positivo en el cumplimiento de los logros y objetivos en lo operativo y en lo gerencial, además de que permite una mejor integración de las áreas operativas, lo que contribuye la mejora continua.

### Valoración de: percepción, estrés y sentido de alerta, de los operadores considerando el sistema visual de información

Un impacto importante del Sistema Visual de Información, radica en la afectación directa en los operadores y nivel de concentración, presión por cumplir el tiempo y toma de decisiones a medida que se desarrolla la simulación.



**Figura 6.** Valoración por parte de los operadores durante el proceso : (a) toma de decisiones, presión por cumplimiento del tiempo, conocimiento requerido y (b) nivel de estrés y sentido de alerta

Toma de decisiones correctivas: se observa en la Figura 6 (a) que, la mayoría de los operadores (tres de ellos) opinan que la necesidad de acciones correctivas como realizar nuevamente el ensamble o incrementar el tiempo de inspección de las piezas, se presentan al inicio del proceso.

Presión por cumplimiento del tiempo: Esta situación es compartida por 2 operadores quienes manifestaron que, la presión en el cumplimiento del tiempo para realizar el ensamble estuvo presente durante el primer tercio del la duración de la simulación (30% del tiempo) los otros tres operadores, opinaron que esta presión se presentó posteriormente, pero de manera

gradual y constante a lo largo de la simulación.

**Conocimiento requerido:** El conocimiento requerido para que los operadores puedan realizar sus operaciones, oscila de manera continua (aumenta y disminuye) a medida que el tiempo del proceso de ensamble avanza, esto responde al nivel de complejidad de cada subensamble a desarrollar. Salas et al., (2017) menciona que, al desempeñar una determinada tarea, no solo se implica el conocimiento teórico, sino también la destreza en la labor para que ésta pueda ser realizada, tomando en cuenta una serie de medidas de mejora orientadas al proceso.

**Nivel de estrés y sentido de alerta:** Cuando no se hace uso del sistema visual de información, se observa en la Figura 6b, que el 80 % de los operadores consideran un nivel alto tanto de estrés y sentido de alerta, esto se debe principalmente a que se desconoce el estado real del proceso, no se conoce si cada estación está cumpliendo con el tiempo estándar ya establecido. Cuando los operadores hacen uso de las pantallas y se tiene acceso a indicadores del proceso, el porcentaje de estrés y sentido de alerta disminuye a un 60 %, sin embargo, es importante mencionar que, al disminuir el sentido de alerta, no se afecta directamente la cantidad de piezas inspeccionadas. Esta situación, esta muy relacionado con lo que comparte García (2015) en su estudio, ya que establece que al reforzar el conocimiento y habilidades de los empleados en el rendimiento personal, la confiabilidad se duplica y la probabilidad de equivocarse se reduce a menos de una cuarta parte. Por otro lado, esto se complementa con el estudio realizado por Tobar (2019), donde determinó mediante una encuesta a trabajadores de una empresa de publicidad, que al no contar con la tecnología adecuada para hacer un trabajo de importancia, esto genera un nivel de estrés medio.

### Indicadores del proceso.

En la Tabla 2, esta contenido el resumen de los indicadores claves del proceso evaluados durante la simulación bajo los dos escenarios, para esto se considera la fase 1, cuando no se hace uso del Sistema Visual de Información y fase 2, cuando la simulación se desarrolla considerando el sistema.

**Tabla 2.** Indicadores claves del proceso evaluados durante la simulación

Estación	Producto	Promedio de tiempo ocioso (min)		% de reducción o incremento	Promedio de tiempo de producción (min)		% de reducción o incremento	Piezas en buen estado		% de reducción o incremento	Cantidad de piezas inspeccionadas		% de reducción o incremento
		Fase 1	Fase 2		Fase 1	Fase 2		Fase 1	Fase 2		Fase 1	Fase 2	
1	Soporte	10,08	6,13	-39,2%	91,89	90,67	-1,3%	10	10	0%	2	4	100,0%
2	Soporte	8,47	8,08	-4,6%	93,75	90,47	-3,5%	10	10	0%	5	5	0%
1	Chapa	12,20	8,64	-29,2%	20,21	21,97	8,7%	9	9	0%	7	9	29%
2	Chapa	16,46	12,60	-23,4%	20,38	19,95	-2,1%	8	10	25%	2	1	-50%
3	Chapa	9,49	10,10	6,4%	25,62	18,97	-25,9%	9	10	11%	0	0	0%

**Tiempo ocioso:** El tiempo ocioso promedio disminuyó en porcentaje considerable en 4 de 5 estaciones al pasar de la primera fase a la segunda. Esta reducción estuvo representada por un 39 % en la estación 1 y un 4,6 %, como valor más alto, en la estación 2. Lo anterior, se atribuye a que el sistema contribuyó a la detección de incidencias, una de las cuales, es el tiempo ocioso. Esta situación, es similar a lo propuesto por Suárez (2015), quien comenta que el principal reto al implementar un sistema Andon en una empresa ensambladora de vehículos fue integrar la mayor cantidad de datos y desplegarlos en forma de señales visuales, lo que permitió mostrar la información necesaria y de esta manera disminuir los tiempos de decisión lo que repercute directamente en la disminución del tiempo ocioso.

**Tiempo de producción:** El tiempo promedio de producción también muestra un decremento en 4 estaciones de ensamble al realizar la simulación sin pantallas y posteriormente con ellas. El porcentaje de reducción fue significativo en la tercera estación de ensamble de la chapa metálica con un 25,9 %. Al contar con información, los tiempos de ensamble se estabilizan, lo que permite cumplir con el tiempo estándar establecido, lo anterior se refleja en una reducción del tiempo de producción.

**Calidad:** La estabilidad en el tiempo de producción y la disminución en el tiempo de demora se ven reflejadas en la calidad de las piezas producidas en ambas fases. Esto tiene relación con la cantidad de piezas que se inspeccionaron en cada una de las estaciones. Al poder monitorear el tiempo de proceso de cada estación, es decisión del operador si destina el tiempo de holgura (en espera de que el cuello de botella active el ritmo de producción) para inspeccionar más piezas como medida preventiva. Es por esto, que al pasar de fase 1 a fase 2, se muestra un incremento en el porcentaje de piezas ensambladas en buen estado por los operadores, sobre todo en la estación de chapa metálica. Lo anterior demuestra que el sistema permitió prestar más atención (por parte de los operadores) al proceso de ensamble de las piezas, mejorando la calidad final de éstas. Esta situación, es fundamentada con el estudio realizado por Krzysztof (2020) quien establece que, una rápida visualización de problemas y desviaciones de los estándares de un proceso, asegura la reacción inmediata por parte de las personas. Además de esto, el mostrar datos en tiempo real de una manera dinámica permite que las alertas del proceso puedan tomarse en cuenta al instante.

**Piezas inspeccionadas:** Tal y como se mencionó en la valoración del sistema (Figura 5), se observa que el sistema ayudó a la mejora continua del proceso y a aumentar la calidad en las piezas, esto se debe a que se inspeccionaron una mayor cantidad de piezas sin afectar el tiempo de ensamble. Dos estaciones de trabajo incrementaron la cantidad de piezas inspeccionadas al pasar de la primera fase a la segunda. Otras dos estaciones permanecieron igual y solamente únicamente una presentó una disminución en las piezas ensambladas, sin embargo, esta última situación no representó afectación en la calidad de las piezas. Baez *et al.* (2017) establece que los errores de omisión, acción, selección y secuencia están presentes en toda la industria y son necesarias acciones para disminuirlos, en este sentido, las ayudas visuales pueden ser una estrategia que permiten mejorar los indicadores de calidad en una línea de ensamble.

## CONCLUSIONES

Este trabajo contribuyó a evaluar el efecto que los nuevos avances tecnológicos tienen, sobre el proceso y los operadores. Al hacer uso de un sistema que brinda información en tiempo real de indicadores claves del proceso, el 60 % de los operadores se enfocaron en el cumplimiento del objetivo. A medida que los operadores obtienen información de su desempeño, estos pueden ir mejorándolo, a través de sus indicadores; mejoraron la calidad de las piezas, teniendo más tiempo y cuidado en la inspección, disminuyeron tiempo ocioso, así como el tiempo de operación por pieza, en lugar de ajustarse a un ritmo de trabajo establecido por el tiempo estándar.

El desconocimiento del proceso por parte de los operadores trae como consecuencia un 80% de niveles de estrés. En el estudio se observó que los niveles de estrés de los operadores disminuyeron en al menos un 20% al contar con información en tiempo real del proceso, lo cual se refleja en el comportamiento de los indicadores.

Cuando se refuerza el trabajo realizado con información y esta concuerda, se estimula la confianza en el operador, esto se ve reflejado en menos equivocaciones y mayor rendimiento en la producción.

Cuando se contó con información del proceso, los operadores detectaron errores o problemas y realizaron acciones de corrección, evitando de esta forma un impacto negativo en el ensamble y logrando la mejora continua del proceso. Cuando los operadores tienen información sobre el tiempo que están ocupando para realizar las tareas encomendadas, pueden acelerar o disminuir el ritmo sin afectar el cumplimiento del tiempo estándar del proceso. Esta información también les permite saber si cuentan con tiempo para realizar una inspección adicional, lo que garantiza calidad en el producto terminado. Es importante contar con una adecuada interpretación de la interfaz gráfica por parte del usuario para llegar a la fase de Ejecución de Planificación en cualquier proceso.

El sistema de control visual facilitó en gran medida las tareas de los analistas, al medir, visualizar y registrar la información del proceso. La aplicación de la tecnología digital, en este caso, ayudó a mejorar la expectativa de los participantes sobre la importancia de contar con información en tiempo real, conjuntamente les permitió evaluar las mejoras de sus propios procesos, a partir del análisis e interpretación de dicha información.

Este tipo de casos didácticos se pueden extrapolar a casos industriales reales y de esta manera, analizar el impacto de estas tecnologías antes de su implementación a nivel industrial, permitiendo detectar oportunidades de mejora.

## REFERENCIAS

AL-GUMAEI, K., SCHUBA, K., FRIESEN, A., HEYMANN, S., PIEPER, C., PETHIG, F., y SCHRIEGEL, S. A Survey of Internet of Things and Big Data Integrated Solutions for Industrie 4.0. En IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation [en línea]. pp. 1417-1424. 2018. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1109/ETFA.2018.8502484>

ANDRADE, A., DEL RIO, C., y ALVEAR, D. (2019). Estudio de Tiempos y Movimientos para Incrementar la Eficiencia en una Empresa de Producción de Calzado. *Inf. tecnol.* [en línea]. 30(3). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000300083>

BÁEZ Y., RODRÍGUEZ, M., DE LA VEGA, E., y TLAPA, D. (2013). Factores que influyen en el error humano de los trabajadores en líneas de montaje manual. *Información tecnológica* [en línea]. 24(6). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000600010>

BOYSEN, N., FLIEDNER, M., y SCHOLL, A. (2007). A classification of assembly line balancing problems. *European Journal of Operational Research* [en línea]. 183(2), 674-693.

ERAZO, A. Propuesta de implementación de la fábrica visual como herramienta de mejora de los procesos de almacenamiento de una industria de balanceados. [en línea]. Tesis - Maestría en Administración de Empresas - Mención Gerencia de la Calidad y Productividad. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 2016 Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/12954>

GARCÍA, O. Análisis de confiabilidad humana del personal de una planta de generación eléctrica. En VII Congreso mundial de mantenimiento y gestión de Activos. pp. 1-10. Centro de Convenciones Cartagena de Indias: Cartagena, 2015.

HEINER, B. (2005). Human Reliability: A Key to Improved Quality in Manufacturing. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing. *Wiley InterScience* [en línea]. 15 (4), 353–368. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/hfm.20032>

HOLM, M. (2018). The future shop-floor operators, demands, requirements and interpretations. *Journal of Manufacturing Systems* [en línea]. 47, 35-42. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.03.004>

KRZYSZTOF, K. (2020) Indicating and analysis the interrelation between terms – visual: management, control, inspection and testing. *Production Engineering Archives* [en línea]. 26(3), 110-120. Disponible en: <https://doi.org/10.30657/pea.2020.26.22>

KUMAR, N. y MAHTO, D. (2013). Assembly Line Balancing: A Review of Developments and Trends in Approach to Industrial Application. *Global Journal of Researches in Engineering Industrial Engineering* [en línea]. 13(2), 29-50. Disponible en: <https://engineeringresearch.org/index.php/GJRE/article/view/798>

KUCUKKOC, I. y ZHANG, D. (2015). Balancing of parallel U-shaped assembly lines. *Computers & Operations Research*. [en línea]. 64, 233-244. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2015.05.014>

LARA, J., MAGOS, M., FIGUEROA, M., LÓPEZ, M., RODRÍGUEZ, L. y LOYO, J. (2017) Sistema de monitoreo para un equipo de estudios de tiempos y movimientos. *Pistas Educativas* [en línea]. 128, 891-908 Disponible en: <http://www.itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas/article/view/1121>

LIKER, J. Toyota. Como el fabricante más grande del mundo alcanzó el éxito. Grupo Editorial Norma. México. 2011.

LÖFFLER, M., TSCHIESNER, A. The Internet of Things and the future of manufacturing. White paper. *McKinsey & Company*. 2013. [en línea]. Disponible en: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/the-internet-of-things-and-the-future-of-manufacturing>

NARDO, M. DI, FORINO, D. y MURINO, T. (2020). The evolution of man–machine interaction: the role of human in Industry 4.0 paradigm. *Production & Manufacturing Research* [en línea]. 8(1), 20-34. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/21693277.2020.1737592>

OHNO, T. (1991). El Sistema de producción Toyota: Más allá de la producción a gran escala. CRC Press. USA.

PONS R., VILLA E. y BERMÚDEZ Y. (2013). El análisis de fiabilidad humana en la mejora de procesos. *Prospect*. [en línea]. 11(2), 61-67. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4752307>

RAMÍREZ-CAMPOS, S. M., GONZÁLEZ-MÚZQUIZ, G. y GONZÁLEZ-FLORES, M. O. (2010). Un caso real de balanceo de líneas de ensamble con restricciones de secuencias de subprocesos resuelto con un modelo genético. *Revista de la Ingeniería Industrial* [en línea]. 4, 1-14. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84950585006>

RINCÓN-MORA, B., PÉREZ-OLGUÍN, I., PÉREZ-LIMÓN, J. y FERNÁNDEZ-GAXIOLA, C. (2014). Aplicación de técnicas de ingeniería industrial en el mejoramiento de un proceso de manufactura. *Ingeniería de Procesos. Casos Prácticos*. [en línea]. 1(1), 6-18.

ROMERO D., NORAN O., STAHRÉ J., BERNUS P. y FAST-BERGLUND Å. Towards a Human-Centred Reference Architecture for Next Generation Balanced Automation Systems: Human-Automation Symbiosis. En *IFIP Advances in Information and Communication Technology* [en línea]. 460. 2015. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-22759-7\\_64](https://doi.org/10.1007/978-3-319-22759-7_64)

RUIZ J. y TRUJILLO M. (2012). Modelos para la evaluación del error humano en estudios de fiabilidad de sistemas. *Anales de Psicología* [en línea]. 28(3), 963-977. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.6018/analesps.28.3.148941>

SALAS K., MADRIZ C., SÁNCHEZ O., SÁNCHEZ B. y HERNÁNDEZ J. (2017). Factores que influyen en errores humanos en procesos de manufactura moderna. *Tecnología en Marcha* [en línea]. 31(1), 22-34. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v31i1.3494>

SALVENDY G. (2012). *Handbook of Human Factors and ergonomics*. Fourth Edition, Copyright © 2012 John Wiley & Sons, Inc.

SOCCONINI, L. (2011). *Lean Manufacturing*. Grupo Editorial Norma. México.

SUÁREZ J. (2015). Análisis de los efectos de la implementación de un sistema Andon en una planta ensambladora de vehículos para el aumento de la productividad: caso Aymesa S.A. [en línea]. Tesis para obtener el grado de maestría. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/9722>

TILL B. y HENDRIK S. Future trends in human work area design for cyber-physical production systems. En *49th CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP-CMS) Procedia CIRP* 57. 404 – 409. 2016. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.070>

TOBAR S. Evaluación del estrés laboral y las jornadas de trabajo en el personal operativo de la empresa Jara Seguridad 2018 [en línea]. Tesis - Maestría en Gestión del Talento Humano. Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador, 2018. Disponible en: [http://repositorio.unab.cl/xmlui/bitstream/handle/ria/10921/a128268\\_Martinez\\_J\\_Evaluacion\\_de\\_estres\\_laboral\\_a\\_2018\\_Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unab.cl/xmlui/bitstream/handle/ria/10921/a128268_Martinez_J_Evaluacion_de_estres_laboral_a_2018_Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (2019).

XING, Y. y YU, J. (2010). A new way of using multimedia screen to display dynamic production data. *International Conference on E-Health Networking Digital Ecosystems and Technologie*



[en línea]. 50-52. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1109/EDT.2010.5496522>

WEI, N. y CHAO, I. (2011). A solution procedure for type E simple assembly line balancing problem. *Computers & Industrial Engineering* [en línea]. 61(3), 824–830. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.05.015>

ZUPAN, H. y HERAKOVIC, N. (2015). Production line balancing with discrete event simulation: A case study. *15th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing* [en línea]. 48(3), 2305-2311. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.431>

## **Agradecimientos**

Experimentación y simulación vivencial desarrollado por los alumnos: Fernando Román Ambris Sánchez, José Manuel Lozano Salgado, Alejandro López Ceballos, Gema Marycruz Romero Buendía, Daniel Gómez Guzmán e Verónica Ibarra Gutiérrez, Miguel Ángel Blancas Blancas, Luis Enrique De Olarte Jiménez, Uriel García Alpizar, Josefina Hernández González, Patricio Ramos González y Claudia Lizeth Reyes Ramírez.