

Herramienta didáctica para la explicación de conceptos de balanceo de línea en cursos de producción de los programas de ingeniería industrial

Kelly Andrea Peláez-Mejía ^a, Jorge Luis Payán-Quevedo ^b & Andrés Felipe Salazar-Ramos ^c

^a Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Guadalajara de Buga, Colombia. kelly.pelaez@correounivalle.edu.co

^b Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Guadalajara de Buga, Colombia. jorge.quevedo@correounivalle.edu.co

^c Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Guadalajara de Buga, Colombia. andres.f.salazar@correounivalle.edu.co

Resumen— Uno de los elementos más importantes en cualquier empresa manufacturera es lograr el adecuado balanceo de sus líneas de producción. De manera específica el balanceo de línea busca distribuir la carga de trabajo entre los recursos de un proceso, de tal manera que se logre equilibrar las capacidades productivas con las necesidades de operación. El presente documento busca proponer una herramienta didáctica para la explicación de conceptos alrededor del balanceo de línea. El montaje logra discutir también un segundo escenario donde se explica una metodología para el balanceo de línea denominada Bucket Brigades. Este es un método eficiente que tiene pocas aplicaciones prácticas en Colombia debido a que es bastante nuevo y poco conocido por la comunidad académica; razón por la que el presente documento también busca difundir el método como alternativa a la consecución de los objetivos de balanceo de línea. Con los resultados de la investigación, se logra demostrar que a partir de la experiencia práctica de los estudiantes en la línea de montaje desarrollada, entienden de mejor manera los conceptos teóricos de este importante tema.

Palabras Clave— Bucket Brigades; tiempo de ciclo; trabajo en proceso; tasa de producción; aprendizaje.

Recibido: 15 de octubre de 2015. Revisado: 10 de febrero de 2016. Aceptado: 15 de febrero de 2016.

Teaching tool for understanding concepts of rolling production line courses programs Industrial Engineering

Abstract— One of the most important elements in any manufacturing company is to achieve the proper balancing of their production lines. Specifically balancing line seeks to distribute the workload among the resources of a process, so as to achieve balance production capacity with operational needs. This document seeks to propose a teaching tool for explaining concepts about rolling line. The assembly also manages to discuss a second scenario where a methodology for balancing line called Bucket Brigades explained. This is an efficient method that has few practical applications in Colombia because it is fairly new and little known to the academic community; why this document also seeks to spread the method as an alternative to the achievement of the objectives of balancing line. With the results of the investigation, it is possible to show that from the practical experience of students in developed assembly line, to better understand the theoretical concepts of this important issue.

Keywords— Bucket Brigades; cycle time; Work in process; production rate; learning.

1. Introducción

Para [1] uno de los casos más importantes y estudiados en un sistema productivo es el problema de balancear una línea, buscando lograr la asignación óptima de los recursos obteniendo mejoras en el desempeño de la misma. Recientemente algunas empresas han adoptado nuevas

herramientas como la metodología Bucket Brigades (BB) para la resolución de este problema.

Según [2] la primera implementación de la metodología BB en los ambientes productivos fue en el año 1989 con la introducción del Toyota Sewn Products Management System (TSS). La metodología BB no se aplica únicamente a las líneas de ensamble, desensamble o de manufactura; [3] observaron que el BB puede aplicarse a otros sectores como, por ejemplo, la fabricación de prendas de vestir y almacenes de recogida de productos (picking).

La metodología BB en las zonas de picking (BB picking) utiliza el concepto de BB en las operaciones de recogida de pedidos. A diferencia de los sistemas comunes de picking, el BB picking no restringe los recolectores dentro de las áreas de trabajo especificadas. Los beneficios alcanzados por los sistemas BB picking se maximizan cuando los supuestos bajo los cuales funciona el modelo están satisfechos y la tasa de producción converge a un valor máximo y estable [4].

Según [5] los medios tradicionales de la organización de una línea de producción, tal como una línea de montaje clásico, son inflexibles; y sólo se cuenta con dos formas de cambiar el ritmo de producción: cambiar el número de turnos o bien redistribuir las tareas, herramientas y piezas en diferentes estaciones. El primero permite sólo ajustes gruesos, y el segundo es caro y poco ágil.

Por estos motivos, [2] hablan de una variación de la línea de montaje que ha sido introducido recientemente en la industria del vestido por Aisin Seiki Co., Ltd. una filial de Toyota, para aumentar la flexibilidad a la cual llamaron TSS. El TSS fue desarrollado bajo la dirección de Toyota durante la década de 1970 para mejorar la fabricación de fundas de asiento [5]. Esta nueva variación consistió en la descentralización de la línea, donde, cada trabajador independiente sigue una regla simple que determina qué hacer a continuación.

Basándose en las reglas del TSS [2] propusieron una nueva metodología llamada Bucket Brigades en la cual, en una línea de producción se tienen n trabajadores que se desplazan entre las m estaciones de la línea siguiendo 3 reglas: 1). Si su artículo es asumido por su sucesor (o si usted es el último trabajador y completa el procesamiento del artículo), a continuación, abandona el elemento y comienza la parte atrasada; 2). Caminar

hacia atrás y tomar el artículo de su predecesor (o, si usted es el primer trabajador, recoger materias primas para iniciar un nuevo artículo) y comenzar a seguir la secuencia de trabajo y 3). Secuenciar los trabajadores del más lento al más rápido. Al cumplir estas tres reglas surgirá de manera espontánea una partición de las cargas de trabajo en las estaciones y la tasa de producción convergerá a un valor máximo posible y estable.

Teóricamente la metodología Bucket Brigades promete grandes mejoras en diferentes tipos de sistemas productivos, siempre y cuando se cumplan a cabalidad ciertos supuestos planteados y estudiados por diversos autores y, que en un sistema de la vida real podrían llegar a entorpecer o minimizar los beneficios de la metodología.

[2] presentan los principales supuestos que se deberían cumplir para el desarrollo del método:

- **Supuesto 1:** Una estación puede procesar como máximo un elemento a la vez, y exactamente se requiere un trabajador para realizar el procesamiento.
- **Supuesto 2:** Todos los artículos son idénticos y por lo tanto cada uno requiere el mismo tiempo de procesamiento.
- **Supuesto 3:** Secuenciar a los trabajadores del más lento al más rápido independientemente de la estación en la que empezara. Surgiría de manera espontánea un balanceo en la carga laboral y la tasa de producción convergerá a un punto máximo.
- **Supuesto 4:** La metodología Bucket Brigades funciona mejor en procesos con pocas estaciones, que en aquellos donde tienen demasiadas: de tres a seis estaciones son los procesos más comunes.

Por lo mencionado anteriormente y dado que la metodología BB parece ser muy promisoría para el balanceo o equilibrio de una línea, el objetivo principal de la lúdica es mostrar que tan prometedor es el desempeño del método, certificándolo con indicadores como el Throughput, el tiempo de ciclo, el número de defectuosos, el WIP (Trabajo en proceso, por sus siglas en inglés) y al mismo tiempo proporcionar nuevos conocimientos de una forma clara y práctica para una mejor interiorización; al igual que permite conocer una nueva metodología para el balanceo de línea que ha surgido en los últimos 20 años y que lleva como nombre Bucket Brigades. Los conceptos más importantes tratados son:

Bucket Brigades: Brigada de cubo o de cadena humana, es un método para el transporte de artículos de una persona a la siguiente. En producción hace referencia a un modo de organización y asignación de operarios en una línea de ensamble [6].

Balanceo de línea: Agrupación de operaciones o actividades en centros de trabajo que cumplen con un orden y tiempo operativo determinado, de manera que la línea tenga continuidad y equilibrio [6].

Trabajo en proceso (WIP): Conjunto general de las entidades o elementos pendientes por ser procesados a lo largo de la línea de ensamble [6]. El trabajo en proceso requiere espacio de almacenamiento y representa un riesgo de caducidad y/o daño sobre los elementos.

Tiempo de ciclo: Es el tiempo promedio entre la producción de dos unidades consecutivas de productos [6].

Throughput: Se define como el número de ítems fabricados por unidad de tiempo [6].

Número de defectuosos: Cantidad de órdenes que salen al final de la línea de ensamble sin cumplir con los requisitos.

La metodología BB se realizó por medio de pruebas o lúdicas dado que, como dice [7], el uso de modelos de enseñanza con la aplicación lúdica permite fomentar el trabajo en equipo, profundizar conocimientos y a la vez que se vivencien los diferentes aspectos que pueden afectar un proceso de la vida real. Espacios como los laboratorios favorecen la exploración de la creatividad, la creación de soluciones novedosas, el análisis de una situación desde diferentes perspectivas, así como la comprensión de un determinado problema, sus causas y consecuencias [8].

Una vez realizada la revisión bibliográfica frente al tema es necesario plantear el esquema de presentación del documento. En la sección de metodología se presentan los aspectos necesarios a tener en cuenta para el desarrollo de la lúdica en el salón de clase como soporte a la enseñanza de los conceptos relacionados al balanceo de línea. La sección de resultados detalla los más relevantes del estudio, posteriormente se aborda la sección de conclusiones que además presenta algunas discusiones fruto de los experimentos con los estudiantes en el salón de clase.

2. Metodología

Esta trabajo de investigación fue realizado con apoyo de los estudiantes de Ingeniería Industrial de séptimo semestre de la Universidad del Valle sede Buga, participantes en el IV Encuentro de la Red IDDEAL realizada en la universidad Autónoma de Occidente y estudiantes de especialización en logística de la Universidad del Valle sede Buga (Anexo A).

El desarrollo de la lúdica se llevó a cabo en un tiempo estimado de 35 minutos en los cuales se explicaron los conceptos a medida que se desarrollaba. La lúdica se dividió en tres fases; cabe resaltar que tanto al comienzo como al final de la lúdica se realizó una encuesta (Anexo F) con el fin de determinar el proceso de aprendizaje o conocimiento adquirido tras la aplicación de la herramienta propuesta. La primera fase de la lúdica consistió en la simulación de una línea de picking donde los participantes que participaron como operarios se encontraban asignados a estaciones fijas. En la segunda fase se simuló la misma línea de picking pero ahora los operarios no tenían zonas fijas y estuvieron secuenciados bajo la metodología BB.

El escenario de la lúdica se organizó de la siguiente manera: cada equipo tuvo 3 mesas alineadas a lo largo una frente a la otra. Sobre cada mesa se colocaron 9 cajas que representaron las estaciones de trabajo que fueron nombradas desde la estación "A" hasta la estación "I" y donde cada una contenía pitillos de diferentes colores los cuales, al agruparse, representaron las órdenes (Anexo B) de diferentes productos que debían alistarse.

Las órdenes representaban pedidos de productos realizadas por los clientes las cuales debían alistarse y debían de llegar a la línea a una razón de 30 segundos cada una. En cada orden se especificó el número y color requerido de pitillos en cada estación. A continuación se muestran los roles de cada persona durante la lúdica.

En la Tabla 1 se puede observar el número de personas que se necesitan por cada equipo y los roles con su respectiva función. Para cada equipo se necesitaron un total de 6 personas.

2.1. Primera fase

A) Se organizaron dos equipos de 6 personas y en cada equipo se asignaron los respectivos roles a cada uno de los participantes como se muestra en la Tabla 1. A cada equipo se le entregaron dos baquetas, un par de pinzas y dos formatos (Anexo C y Anexo D) para el registro de información.

B) Las tres personas seleccionadas como operarios se bican de pie al frente de la línea en el siguiente orden: 1) Operario. 2) Operario con baquetas. 3) Operario con pinzas. (Ver Anexo A)

C) El operario 1 se encargó de las estaciones A, B y C; el operario con baquetas de las estaciones D, E y F; y por último, el operario con pinzas se encargó de las estaciones G, H y I.

D) Las personas elegidas como jefe de calidad y jefe de producción se situaron al final de la línea al igual que el patinador. **E)** Al iniciar la lúdica se liberaron en intervalos de 30 segundos cajas con sus respectivas órdenes de producto al inicio de la línea. Si en algún momento una estación se encontraba desabastecida de material, el patinador debía reabastecer dicha estación. El jefe de calidad registró la cantidad de órdenes defectuosas que salieron de la línea al igual que la cantidad de órdenes terminadas. El jefe de producción se encargó de registrar el tiempo de ciclo y el inventario en proceso una vez que terminó la primera simulación.

Tabla 1.
Roles de los participantes.

Rol	Función
Operario con baquetas	Encargado de realizar la actividad de picking con las baquetas.
Operario con pinzas	Encargado de realizar la actividad de picking con las pinzas.
Operario 1	Encargado de realizar la actividad de picking con las manos.
Jefe de calidad	Encargado de revisar que al final de la línea los pedidos salgan con los requisitos de color y cantidad exigidos, y anotar la cantidad de órdenes que salen.
Jefe de producción	Encargado de registrar el tiempo de ciclo y el inventario en proceso de cada línea al final de la lúdica.
Patinador	Encargado de reabastecer las estaciones con materia prima.

Fuente: Los autores.



Figura 1. Recreación del primer escenario de la lúdica.
Fuente: [1]. Los autores

F) Al finalizar la simulación de la primera fase el jefe de producción y de calidad entregaron los formatos (Anexo C y Anexo D) para ingresar la información a una plantilla (Anexo E) de Excel para un posterior análisis y socialización de los datos al final de las dos fases.

2.2. Segunda fase

En esta segunda fase se realizaron los cambios que se explicarán a continuación:

A) Las tres personas seleccionadas como operarios se ubicaron de pie al frente de la línea en el siguiente orden: 1) Operario con baquetas, 2) Operario con pinzas y 3) Operario 1.

B) Cada operario seguirá las reglas de la metodología BB a lo largo de la línea de la siguiente manera: cuando el último trabajador complete una tarea, éste debe regresar y hacerse cargo de la tarea de su antecesor; a su vez el trabajador que acaba de ser interrumpido vuelve atrás y toma la tarea de su antecesor y así sucesivamente a lo largo de la línea hasta que el primer trabajador ingresa materia prima [9].

C) Al finalizar de la simulación, el jefe de producción y de calidad entregaron los formatos (Anexo C y Anexo D) de registro para ingresar la información a una plantilla o formato (Anexo E) de Excel para un posterior análisis y socialización de los datos al final de las dos fases.

3. Resultados

Esta lúdica fue realizada con los estudiantes de Ingeniería Industrial de séptimo semestre de la Universidad del Valle sede Buga, participantes en el IV Encuentro de la Red IDDEAL realizada en la Universidad Autónoma de Occidente y estudiantes de especialización en logística de la Universidad del Valle sede Buga.

Cabe aclarar que la lúdica se realizó para un total de 6 equipos o líneas de ensamble, los resultados obtenidos mostraron un significativo aumento en la tasa de producción y una disminución en los tiempos de ciclo y lead time cuando se

Tabla 2.
Tabla resumen de las variaciones de los indicadores de los diferentes equipos

Indicadores	% de variación
Órdenes completadas	174%
Tasa de producción	174%
Tiempo de Ciclo Promedio	41%
N° de defectuosos	150%
WIP	65%

Fuente: Los autores.

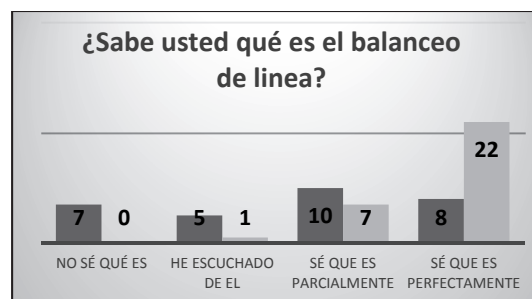


Figura 2. ¿Sabe usted qué es el balanceo de línea?
Fuente: [1]. Los autores

utilizaba la metodología Bucket Brigades. Los resultados hacen referencia a la comparación de los indicadores antes y después de la aplicación de la metodología Bucket Brigades para cada equipo (Anexo G). En la Tabla 2 se muestra el promedio de las variaciones de todos los equipos:

Como se puede observar de la Tabla 2, al aplicar la metodología Bucket Brigades se obtuvo un aumento en promedio del 174% en relación a la tasa de producción de los 6 equipos. En cuanto al trabajo en proceso y el tiempo de ciclo estos disminuyeron en promedio 65% y 41% respectivamente para los 6 equipos. El número de defectuosos aumentó un 150%, esto indica que, aunque se tuvo un aumento en la tasa de producción y disminución del tiempo de ciclo la cantidad de órdenes defectuosas se debió principalmente a la comunicación de los operarios en la línea y la complejidad de la labor de picking.

También se debe resaltar el conocimiento adquirido por parte de los estudiantes, ya que al comienzo de la lúdica se les explicó los conceptos nuevos como el balanceo de línea, Bucket Brigades, tasa de producción, tiempo de ciclo, trabajo en proceso, calidad, etc.; y gracias a esta actividad pudieron asimilar de una forma más rápida y didáctica estos conceptos. A continuación se presentan los resultados de la encuesta realizada a 30 personas (Anexo H).

En la Fig. 2 el color gris oscuro representa los resultados de la primera encuesta realizada antes de empezar la lúdica y el color gris claro muestra los resultados después del desarrollo de la lúdica y la explicación de los conceptos.

Como se puede apreciar de la Fig. 2, solo 8 personas conocían qué es el balanceo de línea antes de explicar los conceptos. Al final de la lúdica se pasó de 8 personas a 22 que conocían que es el balanceo de línea, dando como resultado un aumento de 14 personas que corresponde a un 175%.

De las personas encuestadas solo una sabía que era perfectamente la metodología Bucket Brigades. Se puede apreciar que la lúdica fue bastante útil para que los participantes interiorizaran un nuevo concepto. En promedio 20 personas aprendieron que es la metodología Bucket Brigades.

Para la pregunta ¿Sabe usted cómo funciona la metodología Bucket Brigades? 29 personas aprendieron sobre la metodología Bucket Brigades.

Para las medidas de desempeño como la tasa de producción, el tiempo de ciclo y el trabajo en proceso, se observó también un aumento en el número de personas que aprendieron que eran estos indicadores y como servían para medir el desempeño de la línea. El aumento de personas no fue tan significativo dado que la gran mayoría ya conocían que son estos indicadores.

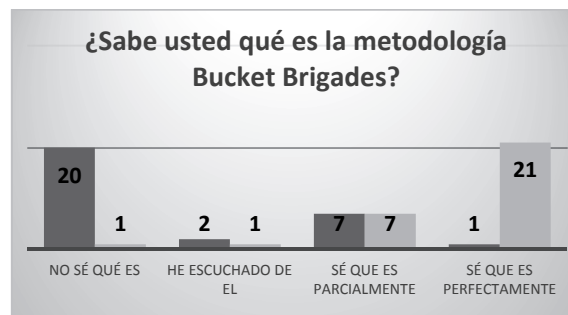


Figura 3. ¿Sabe usted qué es la metodología Bucket Brigades?
Fuente: [1]. Los autores

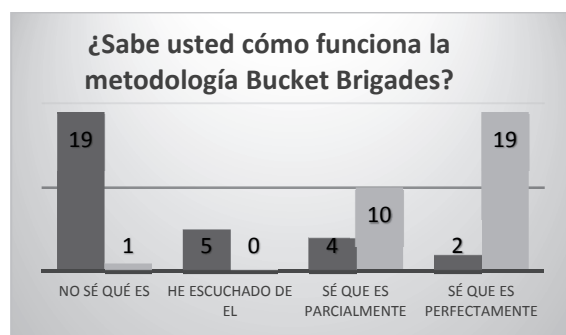


Figura 4. ¿Sabe usted cómo funciona la metodología Bucket Brigades?
Fuente: [1]. Los autores



Figura 5. ¿Sabe usted que es el throughput o tasa de producción?
Fuente: [1]. Los autores

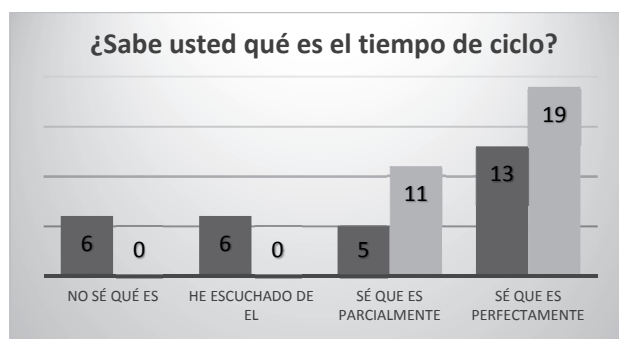


Figura 6. ¿Sabe usted qué es el tiempo de ciclo?
Fuente: [1]. Los autores

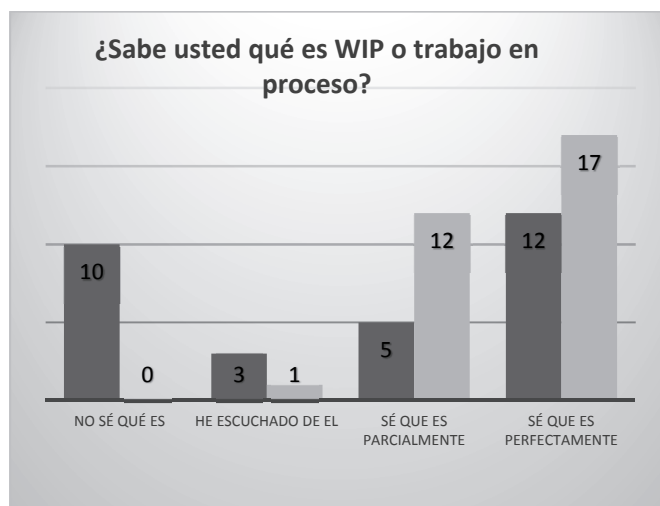


Figura 7. ¿Sabe usted qué es WIP o trabajo en proceso?
Fuente: [1]. Los autores

4. Conclusiones y Discusiones

Con la realización de la lúdica se pretende que los asistentes puedan conocer los problemas que afectan a las empresas, la importancia de estos, las herramientas para resolverlos y los indicadores para medir el desempeño de las soluciones aplicadas.

En la lúdica realizada se utilizaron pitillos de diferentes colores por lo cual la complejidad de las tareas fue mayor. Se resaltó por parte de los estudiantes que la calidad con la que salían las órdenes se vio afectada por la comunicación y los pitillos de varios colores.

Cabe resaltar que se evidenció claramente que la eficacia del método depende de la comunicación existente entre los trabajadores debido a que sí, por cualquier motivo, los operarios llegan a omitir, tergiversar o anular cualquier tipo de información, se ocasionará que se produzcan defectuosos o que el correcto flujo de la línea se vea entorpecido a causa del reproceso causado por esos errores.

Los asistentes a la lúdica pudieron conocer una nueva metodología para el balanceo de línea, al igual que las condiciones en las que se puede aplicar y los requisitos de la misma.

Se puede decir que la metodología Bucket Brigades si es efectiva para el balanceo de una línea pero se deben tener en cuenta factores importantes que afectan la aplicabilidad de la metodología como es la comunicación de los operarios en la línea, la complejidad de las tareas y la habilidad manual.

La lúdica si cumplió con el objetivo planteado de mostrar la bondad del método para balancear una línea dado que se obtuvieron mejoras tanto en los indicadores utilizados como en los conocimientos adquiridos por los participantes y espectadores. Los resultados de la lúdica mostraron que con la aplicación de la metodología Bucket Brigades se aumentó tanto la tasa de producción como la disminución del tiempo de ciclo en las líneas de ensamble simulados en 173,6% y 64,7% respectivamente.

Por otro lado se logró con la lúdica se interiorizaran conceptos nuevos, esto está sustentado en la encuesta realizada que refleja que los participantes al terminar la lúdica aprendieron algo nuevo.

Anexos

Anexo A: Muestra fotográfica de diversos escenarios



Figura 8. Prueba lúdica realizada con estudiantes de especialización en logística de la Universidad del Vale sede Buga.

Fuente: [1]. Los autores



Figura 9. Demostración realizada con estudiantes de especialización en logística de la Universidad del Vale sede Buga.

Fuente: [1]. Los autores



Figura 10. Prueba lúdica realizada durante el IV Encuentra de la Red IDDEAL Cali, Valle del Cauca.

Fuente: [1]. Los autores

Anexo B: Ejemplo de orden a completar por los trabajadores



Figura 11. Orden a completar por los trabajadores.

Fuente: [1]. Los autores

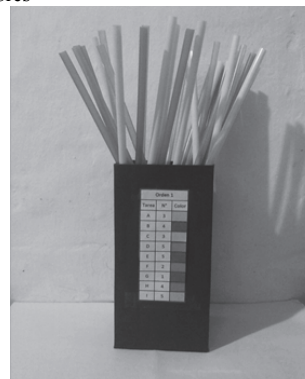


Figura 12. Orden completada por los trabajadores.

Fuente: [1]. Los autores

Anexo C: Formato de tiempo de ciclo y WIP – Jefe de producción

Formato: Tiempo de ciclo y WIP

Equipo			Simulación N°			Trabajo en proceso	
N°	Minutos	segundos	N°	Minutos	segundos	WIP	
1			26				
2			27				
3			28				
4			29				
5			30				
6			31				
7			32				
8			33				
9			34				
10			35				
11			36				
12			37				
13			38				
14			39				
15			40				
16			41				
17			42				
18			43				
19			44				
20			45				
21			46				
22			47				
23			48				
24			49				
25			50				

Anexo D: Formato de Throughput y numero de defectuosos – Jefe de calidad

Formato: Throughput y número de defectuosos

Equipo		Simulación N°																									
N°	Defectuosos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Defectuosos																											
Ordenes																											

N°	Defectuosos	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Defectuosos																										
Ordenes																										

Marque con una x en la casilla ordenes cada vez que salga una orden de la línea o en defectuosos cada vez que una orden no cumpla con los criterios de calidad.

Anexo E: Formato de resultados

Formato de resultados

Tabla Resumen				
Simulación N°	1	2	Unidades	
Equipo				
Tiempo de simulación				Minutos
Ordenes completados				Ordenes
Tasa de producción				Orden/Min
Tiempo de Ciclo Promedio				Minutos

Tabla de variación		
Equipo		
Ordenes completados		
Tasa de producción		
Tiempo de Ciclo Promedio		
WIP		

Anexo F: Encuesta de evaluación de conocimientos (la encuesta se realizó antes y después de la lúdica)

Encuesta de Evaluación: ¿Qué sabes del Bucket Brigades?

1.1 ReResponda las siguientes preguntas con total honestidad marcando con una x la repuesta que crea conveniente. Esta encuesta es solo para fines académicos.

1. ¿Sabe usted qué es el balanceo de línea?

- A. No sé qué es.
 B. He escuchado de él.
 C. Sé qué es parcialmente.
 D. Sé qué es perfectamente.

2. ¿Sabe usted que es la metodología Bucket Brigades?

- A. No sé qué es.
 B. He escuchado de ella.
 C. Sé qué es parcialmente.
 D. Sé qué es perfectamente.

3. ¿Sabe usted cómo funciona la metodología Bucket Brigades?

- A. No lo sé.

- B. He escuchado cómo funciona.
 C. Sé cómo funciona parcialmente.
 D. Sé cómo funciona perfectamente.

4. ¿Sabe usted qué es el tiempo de ciclo?

- A. No sé qué es.
 B. He escuchado sobre él.
 C. Sé qué es parcialmente.
 D. Sé qué es perfectamente.

5. ¿Sabe usted qué es el Throughput o tasa de producción?

- A. No sé qué es.
 B. He escuchado sobre él.
 C. Sé que es parcialmente.
 D. Sé qué es perfectamente.

6. ¿Sabe usted qué es WIP o trabajo en proceso?

- A. No sé qué es.
 B. He escuchado sobre él.
 C. Sé qué es parcialmente.
 D. Sé qué es perfectamente.

Anexo G: Resultados

Tabla 3.

Resultados de los estudiantes de 7to Semestre de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle Sede Buga

Simulación N°	1	2	1	2	Unidades
Equipo	Equipo A	Equipo A	Equipo B	Equipo B	
Tiempo de simulación	5	5	5	5	Minutos
Ordenes completados	3	6	3	5	Ordenes
Tasa de producción	0,6	1,2	0,6	1	Orden/Min
Tiempo de Ciclo Promedio	1,33	0,73	1,09	0,75	Minutos
N° de defectuosos	1	3	1	0	Ordenes
WIP	7	3	9	3	Ordenes

Fuente: Los autores.

Tabla 4.

Tabla de variación de resultados de estudiantes de 7to Semestre de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle Sede Buga

Equipo	Equipo A	Equipo B
Ordenes completados	100%	67%
Tasa de producción	100%	67%
Tiempo de Ciclo Promedio	45%	31%
N° de defectuosos	200%	100%
WIP	57%	67%

Fuente: Los autores.

Tabla 5.

Resultados de los equipos participantes en el IV encuentro de la Red IDDEAL

Simulación N°	1	2	1	2	Unidades
Equipo	Equipo A	Equipo A	Equipo B	Equipo B	
Tiempo de simulación	5	5	5	5	Minutos
Ordenes completados	4	6	2	5	Ordenes
Tasa de producción	0,8	1,2	0,4	1	Orden/Min
Tiempo de Ciclo Promedio	0,67	0,51	1,38	0,64	Minutos
N° de defectuosos	1	2	1	4	Ordenes
WIP	8	3	9	3	Ordenes

Fuente: Los autores.

Tabla 6.

Tabla de variación de resultados de los equipos participantes en el IV encuentro de la Red IDDEAL

Equipo	Equipo A	Equipo B
Ordenes completados	50%	150%
Tasa de producción	50%	150%
Tiempo de Ciclo Promedio	24%	54%
N° de defectuosos	100%	300%
WIP	62,5%	67%

Fuente: Los autores

Tabla 7.

Resultados de los estudiantes de especialización en Logística de la Universidad del Valle Sede Buga

Simulación N°	1	2	1	2	Unidades
Equipo	Equipo A	Equipo A	Equipo B	Equipo B	
Tiempo de simulación	5	5	5	5	Minutos
Ordenes completados	4	7	1	7	Ordenes
Tasa de producción	0,8	1,4	0,2	1,4	Orden/Min

Tabla 9.

Encuestas tabuladas

Pregunta	Resultados encuesta inicial				Resultados encuesta final			
	No sé qué es	He escuchado de él	Sé qué es parcialmente	Sé qué es perfectamente	No sé qué es	He escuchado de él	Sé qué es parcialmente	Sé qué es perfectamente
¿Sabe qué es el balanceo de línea?	7	5	10	8	0	1	7	22
¿Sabe cómo funciona la metodología Bucket Brigades?	20	2	7	1	1	1	7	21
¿Sabe qué es la tasa de producción?	19	5	4	2	1	0	10	19
¿Sabe qué es la metodología Bucket Brigades?	6	6	5	13	0	0	11	19
¿Sabe qué es el tiempo de ciclo?	7	5	8	10	0	4	13	13
¿Sabe qué es el trabajo en proceso?	10	3	5	12	0	1	12	17

Fuente: Los autores.

Bibliografía

- [1] De Carlo, F., Borgia, O., and Tucci, M., Bucket brigades to increase productivity in a luxury assembly line. *International Journal of Engineering Business Management*, 5(28), pp. 1-5, 2013. DOI: 10.5772/56837
- [2] Bartholdi, J.J. and Eisenstein, D.D., A production line that balances itself. *European Journal of Operations Research*, 44(1), pp. 21-34, 1996. DOI: 10.1287/opre.44.1.21
- [3] Bartholdi, J.J., Bunimovich, L.A. and Eisenstein, D.D., Dynamics of 2- and 3-worker Bucket Brigades production lines, 1996, pp. 1-10.
- [4] Koo, P.-H., The use of bucket brigades in zone order picking systems. *OR Spectrum*, 31(4), pp. 759-774, 2008. DOI: 10.1007/s00291-008-0131-x
- [5] Bartholdi, J.J., Eisenstein, D.D., Jacobs-Blecha, C. and Ratliff, H.D., Design of bucket brigade production lines, 1995.
- [6] Saucedo, D. y Tigreros, G.M., Evaluación de las medidas de desempeño de una línea de ensamble bajo la metodología bucket brigades, Tesis de Grado. Universidad del Valle, Buga, Colombia. 2014.
- [7] Porras, Y.J., Mejoramiento de las prácticas lúdicas “the beer game”, “flow shop / job shop”, “fabrica xz” y “push/pull” en los laboratorios de ingenierías de la Universidad Autónoma de Occidente, 2011, pp. 1-169.
- [8] Zuluaga-Ramírez, C.M., y Aguirre-Henao, A.M, Actividades prácticas del Grupo GEIO automatizadas en la celda de manufactura flexible. *Entramado*, 10(1), pp. 340-352, 2014.
- [9] Bartholdi, J.J., Eisenstein, D.D. and Foley, R.D., Performance of bucket brigades when work is stochastic, *Oper. Res.*, 49(5), pp. 710-719, 2001. DOI: 10.1287/opre.49.5.710.10609

K.A. Peláez-Mejía, recibirá el título de Ingeniero Industrial en 2016 de la Universidad del Valle, Guadalajara de Buga, Colombia. Actualmente pertenece al grupo de investigación GLASP (Grupo de Lúdicas Aplicadas a la Solución de Problemas) y al grupo de investigación GIMAST de la Universidad del Valle, Colombia. Sus intereses investigativos incluyen: optimización y modelado de sistemas productivos y/o logísticos y la creación de herramientas lúdicas en diversos temas de ingeniería industrial.
ORCID: 0000-0002-6495-5848

J.L. Payán-Quevedo, recibirá el título de Ingeniero Industrial en 2016 de la Universidad del Valle, Guadalajara de Buga, Colombia. Actualmente pertenece al grupo de investigación GLASP (Grupo de Lúdicas Aplicadas a la Solución de Problemas) y al grupo de investigación GIMAST. de la Universidad del Valle, Colombia. Sus intereses investigativos incluyen: optimización y modelado de sistemas productivos y/o logísticos y la creación de herramientas lúdicas en diversos temas de ingeniería industrial.
ORCID: 0000-0002-7648-7500

A.F. Salazar-Ramos, recibió el título de MSc. en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Industrial en diciembre del 2015 por la Universidad del Valle, Colombia. Sus intereses investigativos incluyen: simulación, optimización y modelado de sistemas productivos y/o logísticos.
ORCID: 0000-0001-9911-0792