

Aplicación de Manufactura Esbelta en una empresa simulada a través de un juego

Denise Rodríguez^a

Kléber Barcia^b

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Guayaquil-Ecuador

[a](mailto:^amrodri@espol.edu.ec)^amrodri@espol.edu.ec; [b](mailto:^bkbarcia@espol.edu.ec)^bkbarcia@espol.edu.ec

ABSTRACT

This article presents the development of a game that mimics a manufacturing company of circuit boards. Lean manufacturing techniques are applied in this mimicked company and the results are evaluated. A total of 78 high school students participated in the development of the simulation game. In each simulation there was one experimental group in which Lean Manufacturing is implemented and one control group in which none improvement method is implemented. The results showed that the indicators of returns, complaints and scrap reduced their values in 45%, 58%, and 45% respectively. This game could be used as a Lean Manufacturing training tool in universities and companies.

Keywords: Lean Manufacturing, Game, Simulation, SMEs

RESUMEN

Este artículo presenta el desarrollo de un juego que simula una empresa de manufactura de tableros electrónicos en la cual se aplican conceptos de Manufactura Esbelta y se evalúan los resultados. Un total de 78 estudiantes de colegio participaron en el desarrollo del juego. En cada caso se realizó un grupo experimental en el cual se aplicaron las técnicas de Manufactura Esbelta y un grupo de control en el cual no se aplica ninguna técnica de mejora. Se obtuvo como resultado que los indicadores de devoluciones, reclamos y desperdicios redujeron sus valores en un 45%, 58% y 45% respectivamente. Este juego puede ser utilizado como herramienta de capacitación en universidades y empresas interesadas en conceptos de Manufactura Esbelta.

Palabras claves: Manufactura Esbelta, Juego, Simulación, PYMES

1. INTRODUCCIÓN

El uso de juegos como herramientas de investigación y entrenamiento está creciendo (Bragge, Thavikulwat, & Töyli, 2010). Croson y Donohue (2003) utilizan un juego para investigar el impacto de compartir datos en el punto de uso sobre el efecto látigo. También se han propuesto juegos para capacitar en temas de Manufactura Esbelta como el juego de la lámpara de Ozelkan y Galambosi (2009). El presente estudio refleja los esfuerzos realizados para desarrollar un juego que representa una empresa de manufactura. Además, se considera la aplicación de técnicas de Manufactura Esbelta sobre esta empresa simulada ya que es una técnica de mejora conocida por sus óptimos resultados en indicadores operacionales (Abdulmalek & Rajgopal, 2007; Bhasin, 2011)

2. DISEÑO DEL JUEGO

Para el diseño del juego, se tomó como base el proceso desarrollado por el Ing. Luis Alberto Hernández Andrade en su Tesis de Grado "Mejoramiento Continuo de un Proceso de Ensamble de Circuitos Electrónicos mediante la

Utilización de las Técnicas de Producción Esbelta” (Hernández & Barcia, 2007) que a su vez está basado en el juego desarrollado por el National Institute of Standards and Technology – Manufacturing Extension Partnership (NIST-MEP, 1998). Además, se realizó un estudio exploratorio en tres PYMES ecuatorianas para identificar sus características y modificar el juego propuesto por Hernández y Barcia en base a las características identificadas.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL JUEGO.

La empresa simulada en el juego fabrica circuitos electrónicos de dos tipos: Tom y Daly, cuya diferencia radica en los materiales que los componen. El producto Tom está compuesto por un tablero, tres resortes, un resistor de un omhio, un resistor de 100 omhios y un foco. Mientras que el Producto Daly está compuesto por tablero, tres resortes, un resistor de un omhio, un diodo y un foco (ver figura 1).

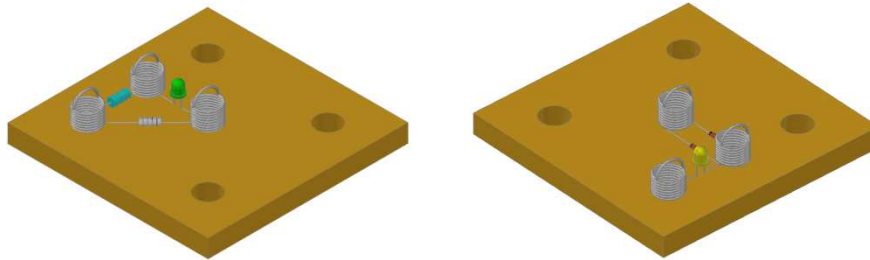


Figura 1: Productos Tom y Daly

Para el desarrollo del juego es necesario contar con 13 participantes que cumplen las funciones de vendedor, jefe de producción, bodeguero, ensamblador de resortes, ensamblador de resistores, ensamblador de diodos, ensamblador de focos y transportista. Se requiere también de dos clientes, que son los encargados de solicitar los productos; y dos inspectores de calidad que definirán los productos como “Aprobados” o “Defectuosos”. El juego proporciona a los participantes ciertos documentos para el desarrollo correcto del juego. Estos documentos son:

1. Tabla de pedidos de clientes que muestra la programación de la demanda con su correspondiente hora de emisión.
2. Orden de pedidos que es un formato en el cual el vendedor coloca los requerimientos del cliente.
3. Tabla de Producto no conforme que es un formato en el cual se registra la cantidad de productos defectuosos y los motivos para calificarlos como tal.
4. Tabla de materiales: es una descripción de los materiales necesarios para ensamblar cada tipo de producto. Esta tabla es utilizada por el bodeguero.
5. Instructivos. Contienen un resumen de la participación de cada operario, procedimientos y un esquema de la forma correcta en la que deben ensamblar los materiales.

Adicionalmente, se sugieren las políticas citadas a continuación para el buen funcionamiento del juego:

- El Transportista será el único autorizado en hacer que el producto en las canastas fluya alrededor de toda la planta.
- El Jefe de Producción es el encargado de solucionar cualquier problema que surja durante la simulación.
- Se debe respetar el orden de los pedidos.
- Debe adjuntarse el formato de “Orden de Pedidos” a la canasta con los materiales que será distribuida por todos los centros de trabajo.

2.2 PROCESO PRODUCTIVO

El proceso inicia con el pedido que el cliente le hace al vendedor quien instrumenta la “Orden de Pedido” y llama al jefe de producción quien entrega dicha orden al bodeguero. El bodeguero coloca en un recipiente todos los materiales necesarios para el ensamble de los productos, la cantidad de materiales la consulta en la “Tabla de

Materiales”. Luego llama al transportista, le entrega el recipiente junto con la orden de pedido para que lo traslade a la estación de ensamble de resortes.

En esta estación se ensamblan todas las unidades con los resortes y diodos, luego se los coloca en el recipiente junto con la orden de trabajo y se llama al transportista para que traslade el recipiente a la estación de Ensamble de Resistores. La misma operación se ejecuta en las estaciones de resistores y focos, ensamblando los componentes respectivos y colocando la orden en el recipiente. Luego de terminado el proceso de ensamble en la estación de focos, se llama al transportista para que entregue el recipiente junto con la orden de pedido al cliente correspondiente. El cliente registra la hora de llegada del recipiente con los productos en la tabla “Pedidos de Clientes” para luego entregarlos a los inspectores donde se probará cada uno de los circuitos, calificándolos como productos buenos o productos defectuosos en la “Tabla de Producto No Conforme”. Los productos buenos son colocados en un recipiente junto con una etiqueta que dice “Aprobado”. Los productos defectuosos son colocados en un recipiente junto con una etiqueta que indique “Defectuoso”. Cada simulación del juego tiene una duración de 20 minutos y se realizan tres simulaciones para comparar los resultados de cada una.

2.3 IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS DE MANUFACTURA ESBELTA

El juego está diseñado de tal forma que se generen muchos inconvenientes durante el proceso, por lo que se plantea la aplicación de técnicas de Manufactura Esbelta. La aplicación de estas técnicas se consigue a través del entrenamiento de los participantes y la aplicación de ideas de mejora derivadas de los entrenamientos (ver figura 2).



Figura 2. Sesión de entrenamiento en técnicas de Manufactura Esbelta

Después de la primera simulación, se entrenan a los participantes en técnicas de conocer al cliente, siete grandes pérdidas y 5S. Las siete grandes pérdidas de manufactura son: Sobreproducción que implica material procesado o producto final que no es requerido; inventario, material que se acumula en el lugar de trabajo, entre procesos, o como producto final; productos defectuosos, es el mayor tipo de desperdicio, porque un producto terminado defectuoso significa que se ha perdido todos los recursos que lo componen, es decir, materia prima, mano de obra, tiempo de almacenamiento, etc.; movimiento innecesario, movimiento sin valor agregado de gente, material, piezas o maquinaria; procesamiento innecesario, pasos innecesarios o procedimientos de trabajo que no agrega valor al producto; espera, se refiere a tener que esperar a que otro proceso termine antes de empezar el trabajo y finalmente transporte, se presenta cuando materiales, información, herramientas o partes no necesarias para la producción se desplazan de un lugar a otro (Liker, 2004). La técnica de 5S (Hirano, 1996) es conocida como el pilar fundamental para el desarrollo de la cultura de Manufactura Esbelta. Los cinco pasos para implementar este método comienzan en japonés con la letra “S” y son: (a) Seiri: Clasificación. Separar por frecuencia de uso los objetos utilizados con el fin de dejar en el sitio de trabajo sólo lo necesario para trabajar; (b) Seiton: Organización. Ordenar los objetos que son necesarios para el trabajo otorgando una ubicación única, específica y visible para el trabajador; (c) Seiso: Limpieza Eliminar la suciedad de todas las instalaciones, máquinas y herramientas después de cada uso, de tal manera que se mantengan en perfectas condiciones todo el tiempo; (d) Seiketsu:

Estandarización. La estandarización consiste en documentar los procedimientos para realizar una tarea específica de forma que todos sepan cómo realizarla; y (e) Shitsuke: Disciplina. Es una forma de medir el desempeño y el sostenimiento de la cultura de 5S (Bicheno & Holweg, 2009).

Después de la segunda simulación, se entrena a los participantes en técnicas para integrar producción y ventas con el fin de que los departamentos de producción y ventas puedan ejecutar sus actividades de una manera integrada, esto se consigue planificando coordinadamente los objetivos, creando comités especiales integrados por representantes de los dos departamentos con el fin de planear las actividades y dar respuesta a las limitaciones de cada una de las partes, para así lograr una maximización del valor percibido por el cliente y a la vez minimizar el doble trabajo de planificación en las áreas productivas, considerada como un desperdicio (Soler & Tanguy, 1998). Además, se entrena a los participantes en técnicas para analizar y solucionar problemas de calidad como son las siete herramientas básicas de calidad (hoja de registro, histograma, diagrama de Pareto, diagrama de causa-efecto, gráfica de dispersión, estratificación y gráficas de control) (Ishikawa, 1988).

3. EJECUCIÓN DEL JUEGO

Se planificó la ejecución del juego con estudiantes de segundo y tercero de bachillerato de tres colegios de la ciudad de Milagro, Ecuador. La propuesta resultó atractiva para las autoridades de los planteles debido a que vieron una oportunidad de direccionar a sus alumnos en sus futuros estudios de tercer nivel. Se vendió la idea de capacitarlos en técnicas de Ingeniería Industrial y despertar en ellos un posible interés por la carrera. La unidad educativa designó aleatoriamente a 26 estudiantes de los cuales 13 formaron el grupo de control y los restantes el grupo experimental. Según el orden de llegada de los estudiantes, se les asignaron los cargos dentro de la empresa simulada ubicándolos en los centros de trabajo respectivos. En el diseño del juego se identificó como punto crítico el área de resortes, debido a esto se tomó la decisión de capacitarlos acerca de la inserción de los resortes en el tablero previo a ser ejecutada la primera prueba, con el fin de reducir el efecto de la curva de aprendizaje. Luego se realizó una explicación sobre el método de la simulación, se mencionaron puntos generales tales como el tiempo disponible y los productos que fabrica la empresa. Sobre las mesas de trabajo se colocaron los instructivos y políticas los cuales debían ser leídos por los participantes; para ello se les otorgó cinco minutos. Posteriormente, se ejecutó una prueba piloto en la que se simuló el proceso de producción de dos productos diferentes. Luego de aclarar cualquier duda o recibir comentarios con respecto al proceso, métodos de trabajo y políticas, se procedió a ejecutar las simulaciones definitivas.

Si el grupo era de control se iniciaba la segunda simulación sin modificación alguna, se llenaban los registros para el control de indicadores y se ejecutaba la tercera simulación con las mismas condiciones. Si el grupo era experimental una vez llenados los registros de control se realizaban los entrenamientos en técnicas de Manufactura Esbelta y luego se implementaban las mejoras. Para efectos de cuantificar la aplicabilidad de la metodología, se utilizaron los resultados obtenidos en la primera y tercera simulación; de esta manera se compara la situación inicial de la empresa simulada con la situación final después de la aplicación de técnicas de Manufactura Esbelta.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de la primera simulación se evidenció un alto índice en las devoluciones, reclamos y el desperdicio, dado que la empresa simulada presentaba problemas a nivel operacional, por lo tanto los productos entregados a los clientes no cumplían con las especificaciones solicitadas. Para la tercera simulación del grupo experimental, las devoluciones y el desperdicio se redujeron en 45% y los reclamos se redujeron en 58%. Mientras que en el grupo de control también hubo una reducción pero menos significativa (ver tabla 1).

Tabla 1. Resumen de los resultados de la primera y tercera simulaciones

Indicador	Grupo Experimental		Grupo de Control	
	Primera simulación	Tercera simulación	Primera simulación	Tercera simulación
Devoluciones	68%	23%	60%	58%
Reclamos	68%	10%	59%	29%
Desperdicio	68%	23%	60%	58%

Para el análisis estadístico, primero se comprobaron los supuestos de normalidad de los datos e igualdad de varianzas. La normalidad de los datos se comprobó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov utilizando el software estadístico Minitab versión 15. Fue necesario eliminar algunos datos atípicos o aberrantes para que se cumpla este supuesto y continuar con el método de análisis. Para la igualdad de varianzas, se utilizó la prueba F y se obtuvo como resultado que los tres indicadores cumplen con este supuesto dado que el valor p obtenido es mayor a 0.05 por lo que se concluye que las varianzas son iguales. Luego, se procedió a determinar si los grupos empezaron en las mismas condiciones para lo cual se realizó un prueba t student para diferencia de medias (ver tabla 2). Los resultados muestran valores de p superiores a 0.05 por lo cual se concluye que los valores iniciales son iguales para el grupo experimental y el de control. Se demuestra que el grupo experimental y de control están en el mismo nivel luego de la primera simulación, por lo que si se evidencia un cambio en la tercera simulación del grupo experimental con relación al de control se puede adjudicar este hecho al tratamiento aplicado, es decir a la implementación de las técnicas de Manufactura Esbelta.

Tabla 2: Prueba t para diferencia de medias de la primera simulación

Indicador	Valor p	Decisión	Conclusión
Devoluciones	0.20	No se rechaza H_0	Condiciones iniciales similares
Reclamos	0.33	No se rechaza H_0	Condiciones iniciales similares
Desperdicio	0.20	No se rechaza H_0	Condiciones iniciales similares

Una vez confirmados los supuestos, se realizó una prueba t para comparar la tercera simulación del grupo experimental y de control con el fin de comprobar que existe evidencia estadística para concluir que los resultados obtenidos en el grupo experimental son mayores a los de grupo de control.

La hipótesis formulada para esta prueba es la siguiente:

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1: \mu_1 < \mu_2$$

Donde:

μ_1 : Es la media de los indicadores de la tercera simulación del grupo experimental.

μ_2 : Es la media de los indicadores de la tercera simulación del grupo de control.

Tabla 3: Prueba t para diferencia de medias de la tercera simulación

Indicador	Valor p	Decisión	Conclusión
Devoluciones	0.004	Rechazar H_0 a favor de H_1	La media del GE es mayor que la del GC
Reclamos	0.042	Rechazar H_0 a favor de H_1	La media del GE es mayor que la del GC
Desperdicio	0.004	Rechazar H_0 a favor de H_1	La media del GE es mayor que la del GC

Como se puede ver en los resultados de la prueba de hipótesis presentados en la tabla 3, se evidenció un cambio positivo en las devoluciones, reclamos y desperdicio. Es decir, los indicadores de devoluciones, reclamos y desperdicios tuvieron una reducción significativa en sus valores luego de la aplicación de las técnicas de Manufactura Esbelta.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El presente artículo muestra el desarrollo de un juego que representa una empresa de manufactura de tableros electrónicos. El juego fue diseñado considerando un juego ya existente (Hernández & Barcia, 2007) y la aplicación de técnicas de Manufactura Esbelta con el fin de analizar el impacto que tienen estas técnicas en los indicadores operativos de devoluciones, reclamos y desperdicios. El juego fue puesto en práctica con la ayuda de 78 estudiantes de secundaria. Para la ejecución del juego se realizaron tres simulaciones: después de la primera simulación se obtuvieron resultados muy bajos en los indicadores de desperdicios, devoluciones y reclamos. Posteriormente, las técnicas de Manufactura Esbelta fueron aplicadas en la segunda y tercera simulación a través de entrenamiento y generación y aplicación de ideas de mejora por parte de los participantes. Además, se incluye un grupo de control para aislar los efectos de incremento por aprendizaje continuo. Después de realizar el análisis estadístico de los datos, se puede concluir que la aplicación de técnicas de Manufactura Esbelta hicieron posible una mejora significativa de los indicadores operativos.

5.2 RECOMENDACIONES

Se reconoce que una de las limitaciones de este estudio es la muestra pequeña. Se recomienda para futuros estudios utilizar de un tamaño de muestra mayor a efectos de que se reduzca la variabilidad de los datos. Además se recomienda aplicar el juego a trabajadores de planta con el fin de reducir el sesgo por las habilidades de los participantes.

Otra limitante del presente estudio puede ser la utilización de solo tres indicadores operacionales (desperdicios, reclamos y devoluciones). En futuros estudios se podrían utilizar otros indicadores adicionales que complementen la evaluación de las técnicas de Manufactura Esbelta.

REFERENCIAS

- Abdulmalek, F., y Rajgopal, J. (2007). "Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study". *International Journal of production economics*, Vol. 107, No. 1, pp 223–236.
- Bhasin, S. (2011). "Improving performance through Lean". *International Journal of Management Science and Engineering Management*, Vol. 6, No. 1, pp 23-36.
- Bicheno, J., y Holweg, M. (2009). *The Lean Toolbox: The Essential Guide to Lean Transformation*. PICSIE Books, Buckingham.
- Bragge, J., Thavikulwat, P., y Töyli, J. (2010). "Profiling 40 years of research in Simulation & Gaming". *Simulation & Gaming*, Vol. 41, No. 6, pp 869–897.
- Croson, R., y Donohue, K. (2003). "Impact of POS data sharing on supply chain management: An experimental study". *Production and Operations Management*, Vol. 12, No. 1, 1–11.
- Hernández, L., y Barcia, K. (2007). "Mejoramiento continuo de un proceso de ensamble de circuitos eléctricos mediante la utilización de técnicas de producción esbelta". Tesis de Ingeniería Industrial, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Hirano, H. (1996). *5s for operators: 5 pillars of the visual workplace*. Productivity Press, Portland.
- Ishikawa, K. (1988). *What is Total Quality Control? the Japanese Way*. Prentice Hall, New York.
- Liker, J. (2004). *The Toyota Way*. Mc Graw Hill, New York.
- NIST-MEP. (1998). Principles of Lean Manufacturing 101.
- Ozelkan, E., y Galambosi, A. (2009). "Lampshade Game for lean manufacturing". *Production Planning and Control*, Vol. 20, No. 5, pp 385–402.
- Soler, L., y Tanguy, H. (1998). "Coordination between production and commercial planning: organisational and modelling issues". *International Transactions in Operational Research*, Vol. 5, No. 3, pp 171–188.

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.