

Implementación de herramientas de manufactura esbelta en una empresa de mantenimiento y servicio de locomotoras

Implementation of lean manufacturing tools in a locomotive maintenance and service company

FÉLIX-JÁCQUEZ, Rosa Hilda†*, CRUZ-RENTERÍA, María Merced y DELGADO-CELIS, Ma. Dolores

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, México.

ID 1^{er} Autor: Rosa Hilda, Félix-Jácquez / **ORC ID:** 0000-0001-6961-341X, **Researcher ID Thomson:** E-9292-2018, **arXiv Autor ID:** rhfélix, **CVU CONACYT ID:** 388127

ID 1^{er} Coautor: María Merced, Cruz-Rentería / **ORC ID:** 0000-0001-7498-0484, **Researcher ID Thomson:** N-4046-2018, **arXiv Autor ID:** MECHE, **CVU CONACYT ID:** 342989

ID 2^{do} Coautor: Ma. Dolores, Delgado-Celis / **ORC ID:** 0000-0003-0141-497X, **Researcher ID Thomson:** M-1649-2018, **arXiv Autor ID:** ma.dolores, **CVU CONACYT ID:** 611148

DOI: 10.35429/JTO.2020.14.4.32.39

Recibido 25 de Julio, 2020, Aceptado, 30 de Diciembre, 2020

Resumen

La mejora continua es un elemento clave para la competitividad de las empresas que buscan aumentar la calidad de un proceso, un producto o un servicio. Este proyecto tiene como objetivo la aplicación de la mejora continua en un proceso de servicio y mantenimiento de locomotoras, que trabaja para la industria ferroviaria en el país. Se identificó una baja eficiencia y productividad en la remanufactura de ejes y ruedas en el área de Combos, lugar donde se realizó el proyecto de mejora. Se utilizó la metodología Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (DMAIC), mediante la aplicación de herramientas de manufactura esbelta, con el fin de eliminar o reducir actividades que no agregan valor. Como resultado, se logró la reducción de tiempos de transporte, la estandarización de las operaciones y la mejora en la seguridad del personal. Lo anterior en conjunto, impactó de manera significativa en el tiempo ciclo de los procesos, logrando incrementar la eficiencia en un 7.52%.

Mejora continua, DMAIC, Manufactura Esbelta

Abstract

Continuous improvement is a key element for the competitiveness of companies seeking to increase the quality of a process, product, or service. This project aims to apply continuous improvement in a locomotive service and maintenance process, which works for the railway industry in the country. Low efficiency and productivity were identified in the remanufacturing of axles and wheels in the Combos area, where the improvement project was carried out. The Define, Measure, Analyze, Improve and Control (DMAIC) methodology was used through the application of lean manufacturing tools to eliminate or reduce activities that do not add value. As a result, reduced transport times, standardization of operations, and improved staff safety were achieved. The above together significantly impacted the time cycle of processes, managing to increase efficiency by 7.52%.

Continuous improvement, DMAIC, Lean manufacturing

Citación: FÉLIX-JÁCQUEZ, Rosa Hilda, CRUZ-RENTERÍA, María Merced y DELGADO-CELIS, Ma. Dolores. Implementación de herramientas de manufactura esbelta en una empresa de mantenimiento y servicio de locomotoras. Revista de Operaciones Tecnológicas. 2020. 4-14:32-39.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: rosa.fj@slp.tecnm.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En el ámbito de la manufactura y los servicios, la estrategia de la manufactura esbelta es un enfoque de calidad y productividad que se ha venido implementando con éxito en las empresas de clase mundial. Este proyecto se realizó en una compañía posicionada como líder en tecnología global y abastecimiento de la industria ferroviaria que ofrece contratos de servicios de mantenimiento, reparación de componentes, así como remanufactura de piezas de locomotora.

La empresa había estado registrando no conformidades generadas por los tiempos de producción superiores al estándar, la cantidad de productos en proceso, la calidad de los productos y el costo generado por desperdicio de tiempo en transporte y búsqueda de materiales.

Desde el inicio de este proyecto se hizo énfasis en una nueva distribución de la planta, así como la parametrización de los procesos actuales, mediante la implementación de herramientas de manufactura esbelta, especialmente en el análisis de los métodos actuales. Se hizo un mapeo del proceso, así como la aplicación de estrategias de mejora en la estandarización del proceso, implementación de la administración visual y acciones encaminadas a la seguridad.

Un elemento de medición de la aplicación de la manufactura esbelta es la productividad asociada a la cantidad de horas hombre, ya que el costo de éstas disminuye, debido a que se suprimen tiempos muertos en los procesos de producción.

En el área de Ejes y Ruedas se aplicó la metodología DMAIC utilizando herramientas de manufactura esbelta para mejorar los procesos productivos.

Marco Conceptual

Mejora Continua

La mejora continua de los procesos consiste en aplicar metodologías que permitan optimizar, de manera cuantitativa y sistemática, el comportamiento y resultados de los procesos, incrementando su eficiencia.

Toda organización que aspire a ser competitiva deberá buscar mecanismos que permitan elevar el desempeño de sus procesos, ya que son éstos los que le agregan valor para la satisfacción de los clientes y otras personas interesadas: accionistas, empleados y proveedores, así como para la comunidad (Bonilla, Díaz, Kleeberg y Noriega, 2010).

Metodología DMAIC

Para poder realizar mejoras significativas de manera consistente en una organización, es importante seguir una metodología que utilice un formato estructurado y disciplinado (Felizzola y Luna, 2014). El proyecto en estudio está soportado en la metodología compuesta de cinco etapas o fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, comúnmente llamada DMAIC, por sus siglas en inglés (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) (Gutiérrez, 2013).

En la primera etapa de Definición se enfoca el proyecto, se delimita y se sientan las bases para su éxito. Se define cuál es el problema que se desea abordar para la mejora.

La etapa de Medir tiene como propósito entender y cuantificar la magnitud del problema que se aborda con el proyecto. Se deberán medir las variables y establecer una ruta de seguimiento, que permitan en la siguiente etapa analizar la situación.

Se continúa con la etapa de Analizar, que tiene como meta identificar la causa raíz del problema al identificar las X vitales, además de entender cómo es que éstas generan el problema y confirmar las causas con datos.

Referente a la etapa de Mejorar, su objetivo es proponer e implementar soluciones que atiendan las causas raíz; es decir, asegurarse de que se corrige o reduce el problema.

Para finalizar, en la etapa de Control, una vez que las mejoras deseadas han sido alcanzadas, se diseña un sistema que mantenga las mejoras logradas. Aquí se formaliza el cierre del proyecto.

Manufactura esbelta

El término manufactura esbelta, se conoce por primera vez en un proyecto de investigación del MIT, para conocer las mejores prácticas de las industrias automotrices a nivel global (Womack, Jones y Roos, 1990). Este grupo encontró que Toyota tenía prácticas que podían ser compartidas, publicando el aprendizaje en la obra titulada *La máquina que cambió al mundo*. La manufactura esbelta, es una práctica de producción que considera que el gasto de recursos para cualquier objetivo que no sea la creación de valor para el cliente final, es un desperdicio (Jones y Womack, 2012). Desperdicio es cualquier ineficiencia en el uso de equipo, material, trabajo, o capital.

La filosofía de la manufactura esbelta se basa en la eliminación del desperdicio o de actividades que no agregan valor. Las actividades de valor agregado son aquellas operaciones que transforman, convierten o cambian un producto y por las cuales el cliente está dispuesto a pagar. Por otra parte, se consideran actividades de no valor agregado aquellas que no resultan en un cambio o transformación del producto, que el cliente no está dispuesto a pagar por ellas (Ibarra y Ballesteros, 2017).

Se presenta en este apartado la descripción de los principales términos aplicados en el proyecto, y que van a nutrir la metodología de la implementación.

Kaizen: Término acuñado en Japón, se considera un sinónimo de mejora continua, la búsqueda incesante de mejores niveles de desempeño en materia de calidad, costo, tiempo de respuesta, velocidad de ciclo, productividad, seguridad y flexibilidad entre otros (Ibarra y Ballesteros, 2017). Es la acumulación gradual de muchos pequeños mejoramientos hechos por todos los miembros de la empresa (Rivera, 2017), (Bonilla, Díaz y Noriega, 2010).

Mapas de la Cadena de Valor (VSM): son representaciones gráficas del flujo de información y de materiales, desde que se coloca la orden, pasando por los proveedores, hasta que el material llega a la empresa para ser transformado y finalmente se despacha el producto terminado a los clientes.

El objetivo principal de estos mapas es el de resaltar oportunidades de mejoramiento mostrando los puntos en los que se desperdicia tiempo a través de la existencia de inventarios en proceso y demoras innecesarias (Rivera, 2017).

5S: De la misma forma en que Kaizen aporta la disciplina del mejoramiento continuo, 5S es el fundamento de la cultura de manufactura esbelta. 5S viene de cinco palabras japonesas que han sido utilizadas para mostrar una evolución desde el orden y la limpieza del sitio de trabajo hasta la disciplina personal (Rivera, 2017).

Trabajo estándar: En procesos que buscan la mejora continua, es necesario generar y seguir procedimientos operativos estandarizados. Los estándares facilitan la incorporación del conocimiento individual en el acervo de la empresa, además de posibilitar el entrenamiento de nuevos trabajadores y los análisis de procesos para mejoramiento continuo (Ohno, 1991).

Takt time: La palabra *takt* viene del alemán *taktzeit* que significa ritmo, compás; hablando en términos para la ingeniería industrial es tiempo de ciclo, pero a diferencia del tiempo de ciclo que se conoce, este mide el ritmo de trabajo en una planta de manufactura (Tapia, Escobedo, Barrón, Martínez y Escanamé, 2017).

Descripción de la Metodología

Etapas de Definición

El combo es la parte más importante del sistema de propulsión de una locomotora, formado por un juego de ruedas y un motor de tracción; hay dos productos diferenciados en la línea: EMD Combo y AC Combo. En el área de Ejes y Ruedas se realiza uno de los procesos de ensamble del combo que afecta su tiempo ciclo. En los últimos dos años, se había estado presentando un incremento en los tiempos de ensamble, motivo por el cual la empresa conformó un equipo de colaboradores externos, para atacar este problema y lograr reducir los tiempos de ensamble y así cumplir con la demanda del cliente.

La meta inicial fue identificar y reducir los desperdicios en todo el proceso de remanufactura de Ejes y Ruedas, para lograr incrementar la eficiencia al menos en un 5%.

La propuesta de acción fue aplicar herramientas de manufactura esbelta mediante una metodología que permitiera implementar de forma estructurada y organizada las mejoras definidas para alcanzar la meta propuesta en el proyecto.

Etapas de Medición

Mapa de la Cadena de Valor (VSM) actual y futuro

El mapa de la cadena de valor muestra el esquema general del proceso; el del estado actual representa la situación inicial de la cadena de valor. En este mapeo se pueden observar los inventarios en proceso, el flujo de la información y de los materiales de cada operación relacionada con su capacidad, disponibilidad y eficiencia. Además, proporciona información sobre la demanda del cliente, la forma de procesar la información del cliente a la empresa y de la empresa a los proveedores, y la manera en que se suministra la información a los procesos.

El mapa de la cadena de valor futuro, representa la mejor solución a corto plazo para la operación, tomando en cuenta las mejoras que se van a incorporar al sistema productivo. Es importante señalar que el mapa de la cadena de valor futuro representa parte del plan de acción para implementar herramientas que ayuden a mejorar las condiciones del proceso, basado en la identificación, eliminación y control de las actividades que no aportan valor al producto.

El primer paso para medir el proceso es realizar el VSM de los procesos en el área de estudio, donde se muestran todas las operaciones, así como el registro del tiempo ciclo de las estaciones, tiempo de valor agregado y tiempo de no valor agregado para cada proceso. Ver figura 1.

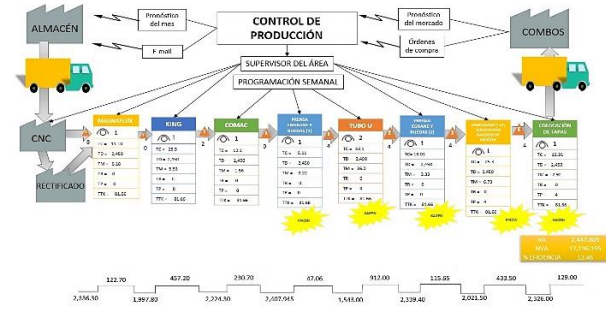


Figura 1 VSM actual
Fuente: Elaboración propia

Una vez elaborado el VSM actual, se diseñó el VSM futuro, tomando en cuenta las prioridades y metas para lograr la implementación de las mejoras, con los recursos y el tiempo disponibles para el proyecto. Ver figura 2.

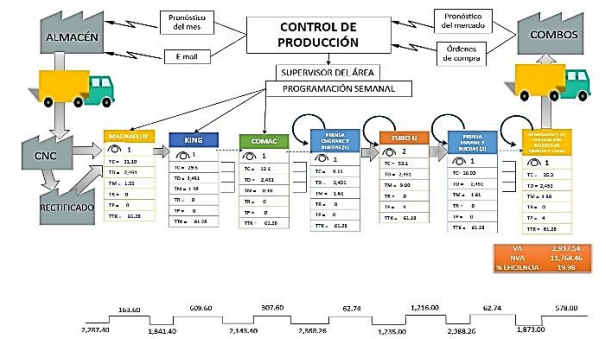


Figura 2 VSM futuro
Fuente: Elaboración propia

El resumen de los tiempos de valor agregado (VA) y no valor agregado (NVA), como resultado del análisis de los VSM actual y futuro se muestran en la tabla 1. La eficiencia actual del proceso, medida con el mapeo de la cadena de valor, resultó en un 12.46%.

Mapeo	VA (Min)	NVA (Min)	Eficiencia
Actual	40.79	286.60	12.46
Futuro	48.959	196.141	19.98

Tabla 1 Eficiencia del VSM actual y futuro
Fuente: Elaboración propia

Estudio de tiempos y movimientos

El diagrama de espagueti es el registro de movimientos y tránsito de los operadores para conseguir los materiales y encontrar áreas de oportunidad en el transporte. Como se muestra en la figura 3, se dibuja el recorrido entre operaciones, con el propósito de obtener las distancias que recorren los operadores para efectuar su trabajo.

Con esta información, se determina la distancia antes de implementar nuevas mejoras relacionadas con los diferentes procesos. Esto contribuyó además a obtener el *takt time* de cada operación.

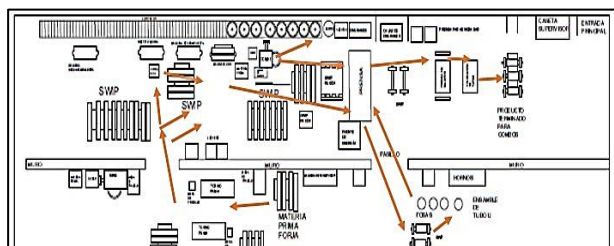


Figura 3 Diagrama de espagueti
Fuente: Elaboración propia

Mientras que *takt time* es el tiempo necesario para completar una pieza de acuerdo con la demanda del cliente, el tiempo ciclo es la suma de todas las actividades para completar una pieza. Es importante definir ambos para su comparación. La tabla 2 presenta el tiempo de ciclo por cada estación en el proceso.

Estación	Tiempo ciclo (min)
Magnaflux	11.10
King	29.50
Comac	12.10
Prensa 1	5.11
Tubo U	53.10
Prensa 2	16.03
Juego vertical	25.90
Colocación de tapas	12.10
Tiempo ciclo total	164.94
Takt time	61.28

Tabla 2 Tiempo ciclo y takt time
Fuente: Elaboración propia

Hoja de combinación de trabajo estándar

La hoja de combinación de trabajo estándar se utiliza para obtener la máxima eficiencia operador-máquina, colocando aquellas operaciones que un operador debe ejecutar al inicio, durante y después de cada turno con sus tiempos y secuencia. Estas hojas fueron creadas para cada operador, e incluyen actividades de limpieza al inicio y al final de cada turno, como se muestra en la figura 4.

STANDARD WORK COMBINATION SHEET						
Production Required: 40 Units	Area: Magnaflux	Operator: []				
Production Time Available: 2400 minutes	Production Line: Magnaflux	Supervisor: []				
Takt Time: 61.3 minutes / Units	Part Number: []	Date: []				
Time per Shift: 480 minutes	Part Name: []	Revisions: []				
Add Rows Delete Rows Erase Data Add/Change/Tabl Line Remove Tabl Line Update Units/Scale						
Cyclical Work Elements	ID	Time				minutes
		Total	Man	Manual	Auto	
1	1	1.00				
2	2	1.80				
3	3	1.64				
4	4	0.60				
5	5	1.67				
6	6	1.45				
7	7	2.15				
8	8					
9	9					
10	10					
11	11					
12	12					
13	13					
14	14					
15	15					
Total Time by Category		3.83	0.63	6.60		
Cyclical Time by Category		3.83	0.63	6.60		
% Cyclical Time by Category		34%	6%	60%		
Total Cycle Time		11.1				
Total Op Time = Cyclical + Non-Cyclical Time						11 minutes / Units
Current Throughput = minutes Per Shift / Total Op Time						44 units / Shift

Figura 4 Hoja de combinación de trabajo estándar de la operación de Magnaflux
Fuente: Elaboración propia

Etapas de Análisis

A través de los datos recabados en la etapa de medición, se identificaron las principales causas que originaron los desperdicios.

En la etapa de Análisis se establecen los factores determinantes para la implementación de las mejoras, así como las herramientas adecuadas para atacar cada problemática presentada. Un resumen de este análisis se presenta en la Tabla 3.

Análisis	Herramientas de manufactura esbelta	Desperdicio para eliminar
Herramientas no configuradas y organizadas	Configuración de herramientas (Shadow Boards)	Movimiento Espera
Estaciones de trabajo no definidas	5 S Lay out	Movimiento Transporte
No hay un flujo en el proceso	Flujo de una pieza	Transporte Espera Movimiento
El proceso no está estandarizado	Balanceo de la línea y trabajo estándar	Sobreproducción Movimiento Transporte Espera
Los materiales no llegan correctamente	Planeación de requerimiento de materiales	Movimiento

Tabla 3 Análisis de los críticos X en el proceso
Fuente: Elaboración propia

Etapas de Mejora

La implementación de la mejora es la actividad más importante para un proyecto de manufactura esbelta.

En esta etapa se implementaron 11 *kaizen* (mejoras) en toda la línea, y que se reflejaron en los tiempos de ciclo y las distancias recorridas en el área de Ejes y Ruedas.

A continuación, se describen las mejoras que impactaron en los resultados obtenidos del proyecto.

Detección de riesgo y 5 S

Cuando se realizó el análisis de tiempos y movimientos, se detectaron riesgos ergonómicos en los procesos, que el equipo de trabajo valoró para diseñar algunos dispositivos que se ajustaran a la antropometría de los operadores, y que pudieran realizar un trabajo de manera segura. Además, se realizaron acciones de 5 S como clasificar, ordenar y limpiar el área de trabajo. Véase figura 5.



Figura 5 Mejoras ergonómicas y 5S
Fuente: Elaboración propia

En el área de desmontaje del tubo en U, los operadores sostienen varios componentes; uno de ellos es un tirador de carrera que tiene un peso de 22 kg. Se fabricó una mesa móvil donde se colocan los diferentes elementos requeridos en la operación, impactando en la reducción del tiempo ciclo y la distancia recorrida, y minimizando el riesgo ergonómico para el operador. En operación de montaje, los operarios deben transportar piezas para colocarlos en el pistón de la prensa y montar los cojinetes en cada extremo del eje del juego de ruedas. Cada rodamiento tiene un peso de 45 kg. Se diseñó un carro con la altura adecuada para descargar e instalar los cojinetes sin poner en riesgo al operador.

Esta mejora impactó en la reducción del tiempo ciclo y el riesgo ergonómico. La documentación del riesgo ergonómico fue aprobada por el área de Ergonomía, Higiene y Seguridad (EHS). La fabricación de los carros se realizó con materiales reciclados por lo que su costo fue mínimo; los ahorros estimados por EHS están basados en los costos que pagaría la empresa por enfermedades relacionadas con la carga excedida de los pesos, como se muestra en la tabla 4.

Riesgos Ergonómicos		Peso EHS (Kg)	Ahorros (Dólares)
Desensamble de Tubo U	de	32	\$47,738.0
Desensamble de carreras	de	22	\$54,753.3
Desensamble de ruedas	de	20	\$27,376.6
Montaje de cojinetes		45	\$77,852.3

Tabla 4 Ahorros estimados en la eliminación de riesgos ergonómicos
Fuente: elaboración propia

Mejoras en la administración visual

Un aspecto activo de la filosofía de la manufactura esbelta es la administración visual; el equipo del proyecto se dedicó a potenciarlo, realizando las mejoras que a continuación se describen y se muestran en la figura 6.

- Marcado y pintura de áreas, herramientas y accesorios para cada modelo de Combo.
- Marcado de contenedores de chatarra y letreos.
- Colocación de hojas de proceso en área de Ejes y Ruedas y área de Combo.
- Diseño de tablero de nivelación de demanda.
- Pizarra de actividades estandarizadas.



Figura 6 Administración visual en área de Combos
Fuente: Elaboración propia

Etapa de Control

Luego de aplicar diversas herramientas de la manufactura esbelta, se continuó con la creación e implementación de controles para el seguimiento de acciones que aseguren y mantengan los resultados alcanzados.

La información obtenida fue registrada en el sistema de control de la empresa para la implementación de controles que ayuden aseguramiento de acciones para asegurar resultados en el tiempo.

El equipo desarrolló dos planes de control, uno para los controles *kaizen* y el otro para la administración visual. Ambos planes, se utilizan para el control de cajas de herramientas, niveles 5'S, mantenimiento de áreas, máquinas y la mejora continua para el área de Ejes y Ruedas y el área de Combos.

Dichos planes se elaboraron para lograr todos los requisitos de la aplicación combinada como lo son el nuevo *lay out*, hojas de seguridad y demás puntos de calidad y procesos.

Resultados

Impacto en el proceso

Con la implementación de todas las mejoras realizadas con la metodología de la Manufactura esbelta, se obtuvieron los siguientes resultados. Ver tabla 5.

Metas	Línea base %	Resultados %
1. Determinar el trabajo estándar	30	100
2. Definir el <i>takt time</i>	70	100
3. Definir el inventario estándar en proceso SWIP	40	100
4. Desarrollar el VSM actual y futuro	0	100
5. Definir el flujo de material	50	100
6. Mejorar la administración visual del área	20	100

Tabla 5 Resultados finales que superan las metas iniciales

Fuente: *Elaboración propia*

Impacto económico

El impacto económico del proyecto se midió en los siguientes indicadores:

- Ahorro del tiempo ciclo laboral de 23.03% (de 164.94 a 126.94 de ciclo), que representa 149,931 dólares en la remanufactura de modelos Combo.
- Ahorro de riesgo ergonómico 160,030 dólares, que son los posibles pagos por incapacidad médica calculados por la compañía.

Agradecimiento

Se agradece a la empresa por las facilidades para implementar y concluir este proyecto.

Conclusiones

El objetivo de este proyecto fue aumentar la productividad aplicando herramientas de manufactura esbelta con la metodología DMAIC. Al término de éste se logró una eficiencia de la línea de Ejes y Ruedas de 7.52%, por encima del 5% planeado. La metodología de trabajo de la manufactura esbelta se basa en el conocimiento y desempeño de las personas y el uso de indicadores. Son los equipos de trabajo los que al final resuelven los problemas. Por esta razón, es recomendable capacitar a los operadores de línea en los temas de trabajo estándar y la técnica de las 5S, con el fin de sensibilizarlos sobre la situación de los procesos y aprovechar así su conocimiento y experiencia en piso, ya que mantener y sostener los resultados dependerá de ellos en cierta forma.

Referencias

Bonilla, E., Díaz, B., Kleeberg, F. y Noriega, M. T. (2010). Mejora continua de los procesos: herramientas y técnicas. Universidad de Lima, Fondo Editorial.

Felizzola, H. y Luna, C. (2014). Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 22(2), 263-277. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052014000200012>

Ibarra, V., y Ballesteros, L. (2017). *Manufactura Esbelta. Conciencia Tecnológica*, (53). Consultado en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=944/94453640004>

Jones D.T. y Womack. J.P. (2012). *Lean Thinking: Cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa*. Grupo Planeta.

Ohno, T. (1991). *El sistema de producción Toyota: Más allá de la producción a gran escala*. 3a ed. Barcelona: Gestión 2000

Rivera, L. (2013). Justificación conceptual de un modelo de implementación de Lean Manufacturing. *Heurística*, No. 15-2013, (15), 91-106.

Tapia, J., Escobedo, T., Barrón, E., Martínez, G. y Estebané, V. (2017). Marco de Referencia de la Aplicación de Manufactura Esbelta en la Industria. *Ciencia & trabajo*, 19(60), 171-178. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-24492017000300171>

Womack, J. P., Jones, D. T. y Roos, D. (1990), *The Machine that Changed the World*, Macmillan, New York, NY.