

Diseño de un proyecto Lean Six Sigma para mejorar el proceso de inyección en una empresa manufacturera de válvulas plásticas

Design of a Lean Six Sigma project to improve the injection process in a manufacturing company of plastic valves

Camilo Andrés Sáenz Céspedes

Resumen

En la actualidad, las grandes compañías afrontan la competitividad y la sostenibilidad empresarial para cumplir con las exigencias del mercado en cuanto a calidad, costos y entrega mientras buscan optimizar sus procesos. Metodologías como *lean manufacturing* y Six Sigma permiten reducir costos y aumentar la productividad en diferentes procesos. La empresa Partes y Complementos Plásticos S. A. S. reportaba costos de \$114 126 000 en ajustes de balance por productos no conformes. En 2016, estos sumaban alrededor de 128 375 unidades, a las cuales el proceso de inyección contribuía con un 54% sobre la producción total. El propósito del estudio fue desarrollar una propuesta para reducir estos costos mediante la metodología Lean Six Sigma que, aplicada sobre los cuatro productos más representativos en ventas, evidenciará las actividades que agregan o no valor en la cadena productiva y la variabilidad de los procesos generadores del producto no conforme. De esta manera podrán establecerse planes de mejoramiento y control.

Palabras clave: lean manufacturing, Six Sigma, optimización, mejoramiento continuo, producción.

Abstract

Currently, big companies face competitiveness and business sustainability to comply with the market demands in terms of quality, cost and delivery while seeking to optimize their processes. Methodologies such as Lean Manufacturing and Six Sigma allow to reduce costs and increase productivity in different processes. The company Partes y Complementos Plásticos S. A. S. reported costs of \$114 126 000 by non-complying products. In 2016, these costs totaled about 128 375 units, to which the injection process contributed with a 54%. This study aimed at reducing these costs by implementing the Lean Six Sigma methodology, which applied to the four most representative products in sales, will evidence the activities that add or not in

¹ Ingeniero industrial de la Universidad Central. Auditor interno 9001:2015. Lean Expert - Lean Six Sigma. Correo: csaenzc@ucentral.edu.co.

the productive chain and the variability of the processes that generate non-conforming products. Thus, plans for improvement and control can be established.

Keywords: lean manufacturing, Six Sigma, optimization, continuous improvement, production.

1. Introducción

La *lean manufacturing* es una filosofía de calidad creada para eliminar todo tipo de desperdicio que no agregue valor al proceso o actividad que transforma materia prima o brinda un servicio. Por lo general, las herramientas de esta metodología están orientadas a trabajar con el recurso humano y generar una cultura de mejoramiento continuo y consciencia de la calidad total en el personal de una organización. Las actividades y operaciones realizadas por y para los trabajadores deben estar alineadas con los principios de mejoramiento continuo que la compañía determine (Rajadell y Sánchez, 2010).

Por su parte, el objetivo de la metodología Six Sigma es reducir la variabilidad de los procesos y, en consecuencia, el número de defectos generados a la menor cantidad posible. Las herramientas de Six Sigma se basan en el control estadístico y el mejoramiento de los procesos (Chase, Jacobs y Aquilano, 2009). Aplicada junto al modelo DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar), Six Sigma permite aumentar la satisfacción del cliente y mejorar el proceso.

Estas dos metodologías se implementaron en la compañía Partes y Complementos Plásticos S. A. S. (PCP) sobre cuatro productos fabricados por el proceso de inyección con el objetivo de determinar las variables que causan el sobrecosto de producto no conforme y su impacto en los indicadores de la organización. En el momento del estudio, la empresa

tenía 1730 días/máquina perdidos por la generación de productos no conformes.

2. Marco teórico

Existen diversas maneras de diseñar e implementar exitosamente un proyecto de mejora con la metodología Lean Six Sigma. Para determinar la más conveniente, es necesario revisar algunos conceptos clave. Según Gutiérrez y Vara (2009), la calidad es el juicio que el cliente tiene sobre un producto o servicio resultado del grado en que las características inherentes del producto cumplen con sus requerimientos. Por consiguiente, la calidad está asociada a la satisfacción del cliente con el producto, pero también a todo el proceso que atraviesa el producto para ser entregado. Cada etapa en la que alguna actividad agrega valor al producto contribuye a su calidad (Perdomo y González, 2004).

Por su parte, la productividad es la relación entre los recursos utilizados y los recursos disponibles, una medida de desempeño que determina si un proceso es productivo o improductivo. Se relaciona con la calidad, pues a mayores resultados con la menor cantidad de recursos, mayor productividad y menores costos de producción, lo que permite una mejor competitividad con calidad y precio (Gutiérrez y Vara, 2009).

En todo proceso productivo —sea de transformación de materia prima o prestación de servicios— existe una variabilidad en los parámetros de calidad que debe cumplir el

producto o servicio. Esta variabilidad depende de las actividades de la vida diaria y también ocurre en procesos empresariales (Gutiérrez y Vara, 2009). Las variabilidades de los procesos en una compañía generan desperdicios y alteraciones en la calidad del producto o servicio (Perdomo y González, 2004).

La variabilidad está presente en todas las etapas de un proceso o servicio y debe identificarse y eliminarse. Para mejorar la calidad y resolver problemas recurrentes y crónicos, es imprescindible seguir una metodología bien estructurada (Gutiérrez y Vara, 2009). La metodología más usada es la del ciclo PHVA de Deming (planear, hacer, verificar, actuar), que busca resolver las causas de los problemas y establecer una retroalimentación al sistema para asegurar una continua identificación de oportunidades de mejora. Esto se conoce como *mejoramiento continuo*.

Dado que en todo sistema productivo se presentan oportunidades de mejora, existen diversas metodologías que permiten identificar dichas oportunidades. Estas metodologías se acompañan de herramientas que aseguran la durabilidad de las soluciones y señalan nuevas formas de mejorar la calidad de un proceso productivo o servicio.

2.1. Lean manufacturing

También conocida como *producción ágil* o *manufatura esbelta*, esta filosofía/metodología busca mejorar los sistemas de fabricación mediante la eliminación del desperdicio, que surge de todas las acciones que no aportan valor al producto y por las cuales el cliente no está dispuesto a pagar (Rajadell y Sánchez, 2010). Esta metodología incluye herramientas que eliminan o reducen desperdicios e indicadores que miden la efectividad de dichas herramientas. Es uno de los sistemas de medición más comúnmente utilizados para capturar,

medir, analizar y evaluar los resultados y desviaciones respecto al objetivo de manera metódica y fiable.

2.2. Indicador OEE

Se calcula en un periodo determinado de tiempo para un equipo o grupo de máquinas y establece la comparación entre el número de piezas que podrían haberse producido en condiciones perfectas y las unidades sin defectos que realmente se han producido. Este indicador es el producto de los índices de disponibilidad, eficiencia y calidad (figura 1).

2.3. Six Sigma

Implementada por primera vez en 1978 por el entonces presidente de Motorola, Bob Galvin, con el propósito de reducir los defectos de los productos electrónicos de su compañía, esta metodología ha sido adoptada, enriquecida y generalizada por un gran número de empresas y es una de las más utilizadas en las últimas décadas. Según Gutiérrez y Román (2009), Six Sigma “plantea una aspiración o meta común en calidad para todos los procesos de una organización” (p. 108). Cuenta con diversas herramientas estadísticas (métrica Six Sigma) que se aplican en un sistema productivo con base en un ciclo de mejoramiento continuo denominado DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar), una versión más detallada del ciclo PHVA de Deming (Chase, Jacobs y Aquilano, 2005).

La combinación de las metodologías *lean manufacturing* y Six Sigma busca eliminar los desperdicios al disminuir y controlar la variabilidad de los procesos (Martínez, 2008). En la actualidad, para obtener una posición competitiva, las empresas necesitan orientarse hacia un cambio organizacional y apoyarse en programas de vanguardia con tiempos rápidos de entrega,

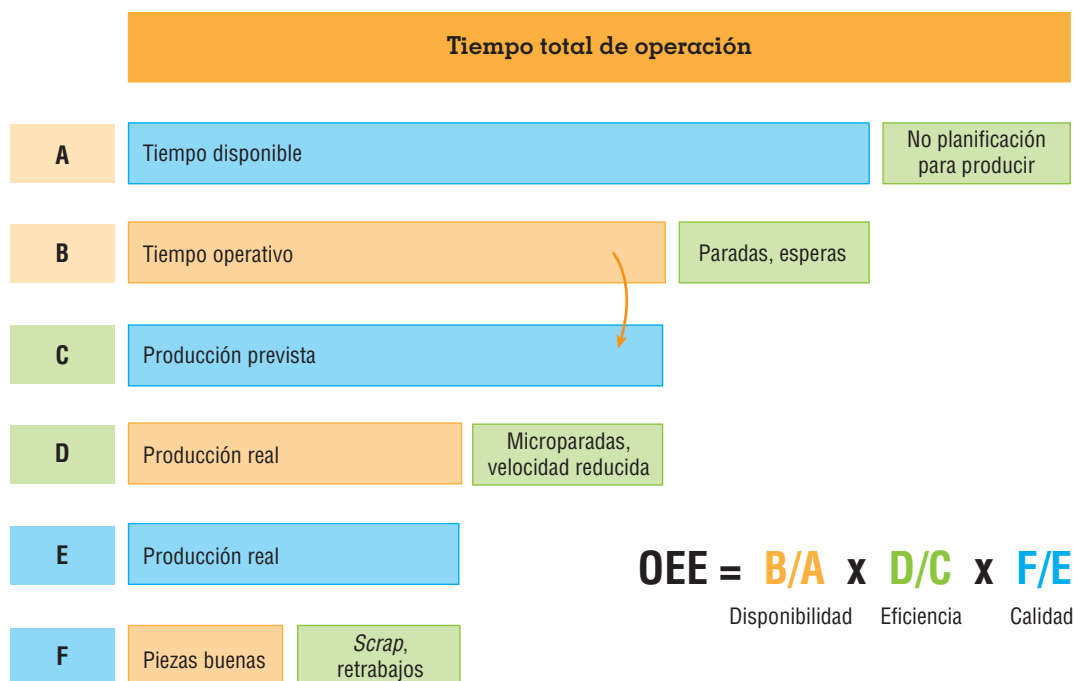


Figura 1. Indicador OEE.
Fuente: Hernández y Vizán (2013).

desarrollo de nuevos productos, entrega en lotes pequeños más frecuente, mayor variedad, precios con tendencias decrecientes, cero defectos en calidad, confiabilidad y, en ocasiones, fabricación a la medida (George, 2010).

En el uso de esta metodología conjunta es habitual ver las fases DMAIC, en cada una de las cuales se desarrollan herramientas *lean manufacturing* acompañadas de la métrica Six Sigma. El objetivo es entender y alcanzar lo que el cliente quiere, que es la clave para la rentabilidad de un proceso de producción (Chase, Jacobs y Aquilano, 2009). Si bien la metodología Lean Six Sigma es una forma rigurosa de solucionar problemas, “los datos por sí solos no resuelven los problemas del cliente y del negocio” (Gutiérrez y Vara, 2009, p. 109). Por tal motivo, esta metodología está enmarcada en el ciclo DMAIC (figura 2).

3. Metodología: ciclo DMAIC

3.1. Definir

3.1.1. Descripción del proyecto

Aunque en el proceso de inyección para manufactura de válvulas generar desperdicios es inevitable, es posible tomar acciones para disminuirlos a un nivel tolerable. Al momento del estudio, la generación de producto no conforme (PNC) en la empresa PCP ascendía a \$114 126 000 en ajustes de balances financieros, de los cuales \$59 800 000 (54%) se perdían en el proceso de inyección. Esta generación de PNC está asociada a actividades de reproceso que consumen recursos y hacen que el costo de producción a los productos terminados y vendidos sea más alto.

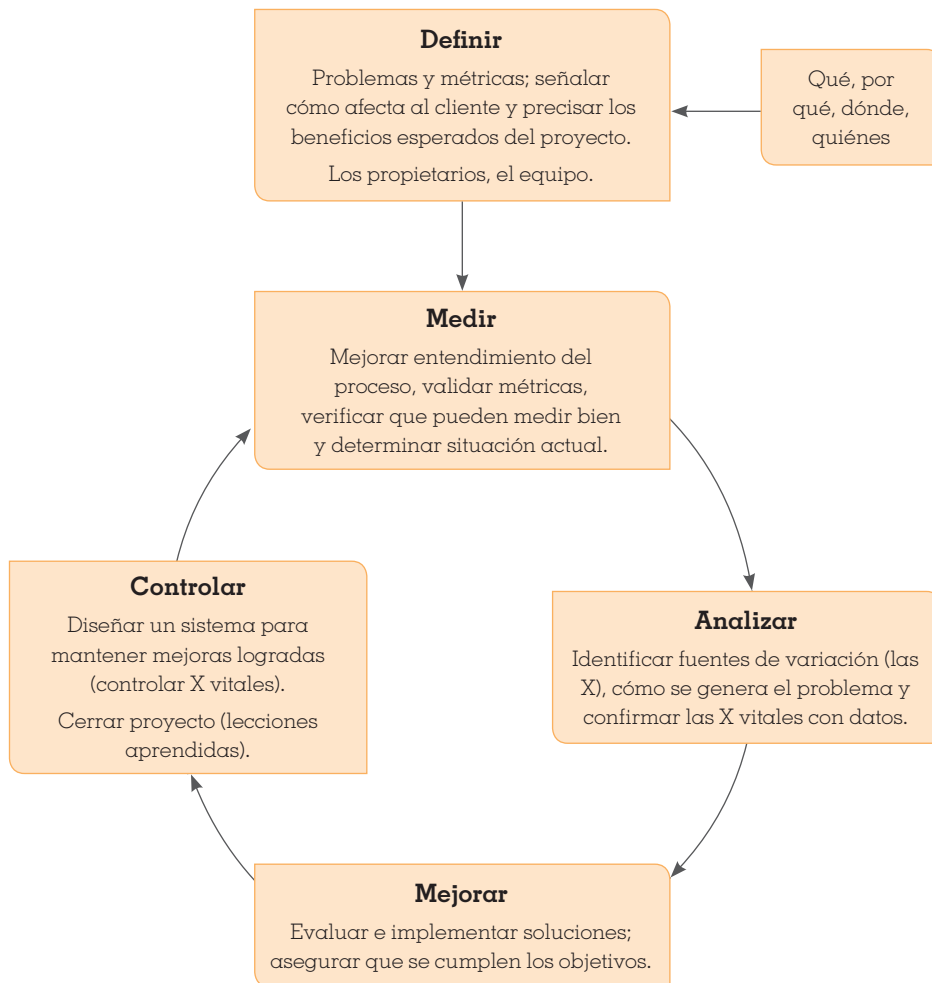


Figura 2. Ciclo DMAIC.
Fuente: Gutiérrez y Vara (2009).

3.1.2. Objetivo

Diseñar mediante la metodología Lean Six Sigma un proyecto que permita identificar las fuentes generadoras de PNC y su impacto en la organización con el fin de eliminar o reducir al máximo posible el costo que el PNC genera.

3.1.3. Alcance

De las 236 referencias que manufactura la compañía PCP, el estudio se realizó con las cuatro más producidas y vendidas. Además, se

realizó una propuesta de mejoramiento solo al proceso de inyección; los demás procesos productivos de la compañía no se abordaron.

3.1.4. Responsables

Se asignaron como responsables al autor del artículo, a la compañía como proveedora de la información y a los gerentes como responsables del asesoramiento en la obtención de los resultados esperados.

3.1.5. Cadena de valor VSM

Para determinar las actividades mediante las que cada producto es elaborado y el tiempo que estas consumen, se elaboró un mapa de valor para las referencias seleccionadas con anterioridad (figura 3).

Al realizar una segmentación de todo el PNC generado por la compañía mediante control escrito, se evidenció que el proceso de inyección tiene el 54% de participación del PNC (figura 4).

3.2. Medir

Con base en el análisis de la fase anterior, se define que el proceso que genera mayor cantidad de PNC en la compañía es el de inyección. No obstante, también intervienen diferentes causas relacionadas con el procedimiento, el seguimiento y el control del producto. Por lo anterior, se realizó un diagrama de Pareto para identificar las causas originadoras del PNC desde el proceso de inyección (figura 5).

Se evidenció que de los diferentes factores que pueden generar PNC en el proceso de inyección, la rotura es la causa con mayor impacto (43% sobre el total de unidades PNC), seguida de la apariencia (16,7%) y la dimensionalidad (15,1%).

3.3. Analizar

3.3.1. Análisis de capacidad

Teniendo en cuenta que las causas que generan mayor PNC en el proceso de inyección son la rotura, la dimensionalidad y el tiempo de ciclo de inyección asociado a la apariencia, se realizó un análisis de capacidad de la causa de mayor impacto (figura 6).

3.3.2. Análisis de rotura

En esta medición, se debe considerar que todo producto que se quiebre (generando rotura) por debajo de la presión definida por la compañía es considerado PNC. Asimismo, todo producto que presente rotura a una presión superior a la definida cumplirá con las condiciones de producto idóneo sin importar la presión registrada. Los productos elaborados deben cumplir normas impuestas por el cliente y la presión mínima es de 1910 PSI.

Por lo anterior, se determinó que la capacidad del proceso para la causal de rotura tenía un comportamiento unimodal; es decir, el proceso solo contaba con un límite de especificación definido. En este caso, el cpk (1) fue de 1,10, el nivel sigma (2) de 3,31 en su estado actual y el proceso a largo plazo (3) de 2616 PPM fuera de especificación:

$$Cpk = \left\| \left\| \frac{(1910 - 2494,55)}{3(176,6)} \right\| \right\| = 1,10 \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\text{Nivel sigma} = 1,10 * 3 = 3,31 \quad (\text{Ec. 2})$$

$$\% PNC = \frac{2616}{1000000} = 0,26\% \quad (\text{Ec. 3})$$

En relación con las variables dimensionalidad y apariencia, se obtuvo que el indicador PPM fue de 166666 en el LES para dimensionalidad y 126582 PPM en el LEI para apariencia²:

Variable dimensionalidad:

$$Cpk = \left\| \left\| \frac{(21,3 - 21,24)}{3(0,0268)} \right\| \right\| = 0,77 \quad (\text{Ec. 4})$$

$$\text{Nivel Sigma} = 0,77 * 3 = 2,31 \quad (\text{Ec. 5})$$

² Para el cálculo del porcentaje PNC, los datos corresponden al PPM a largo plazo y a la desviación estándar dentro del comportamiento de los datos.

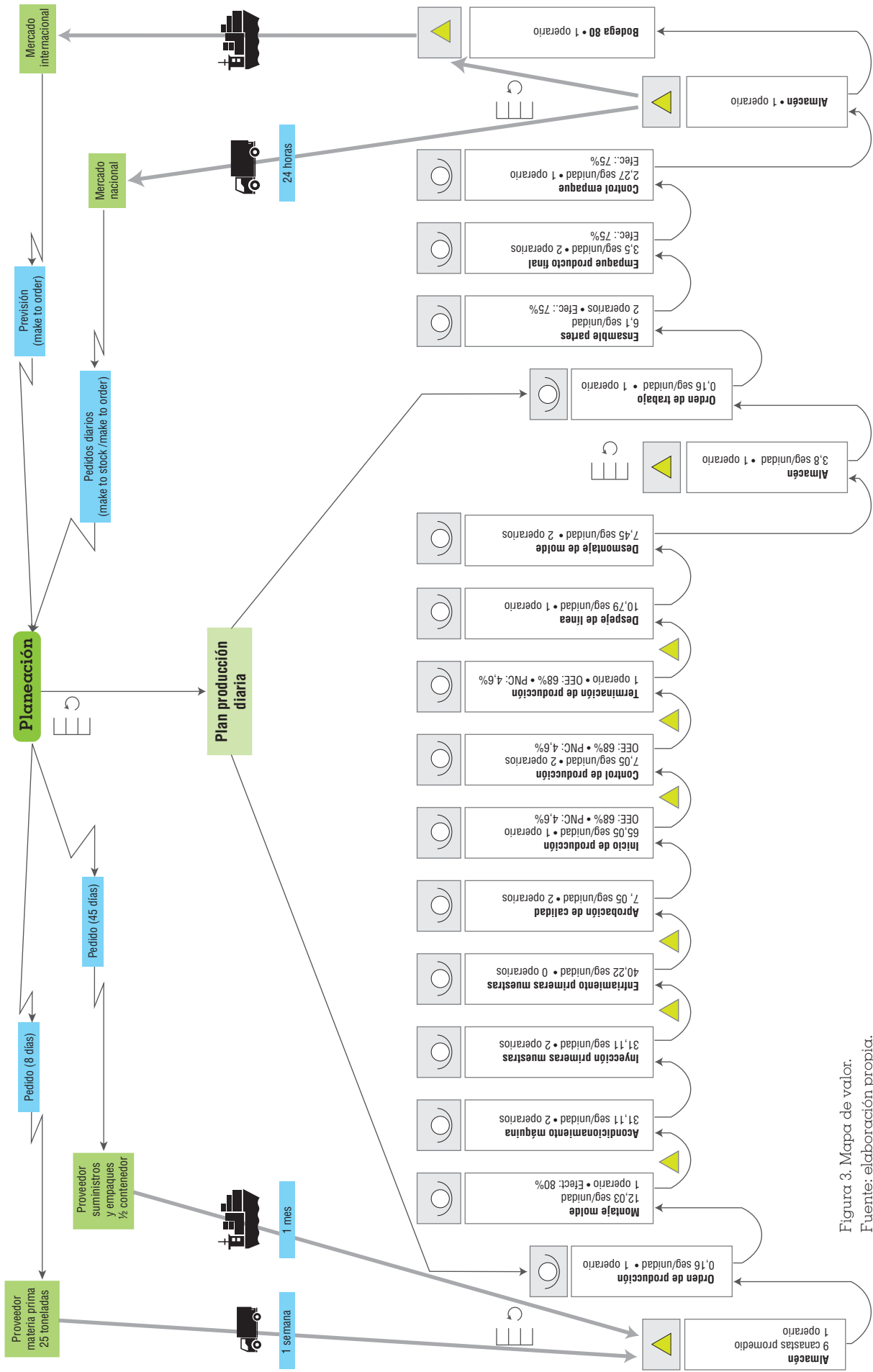


Figura 3. Mapa de valor.
Fuente: elaboración propia.

$$\% PNC = \frac{17117}{1000000} = 1,71 \% \quad (\text{Ec. 6})$$

Variable apariencia:

$$\% PNC = \frac{17117}{1000000} = 1,71 \% \quad (\text{Ec.7})$$

$$\text{Nivel Sigma} = 1,07 * 3 = 3,13 \quad (\text{Ec.8})$$

$$\% PNC = \frac{74487}{1000000} = 7,47 \% \quad (\text{Ec.9})$$

Participación Producto No Conforme por procesos

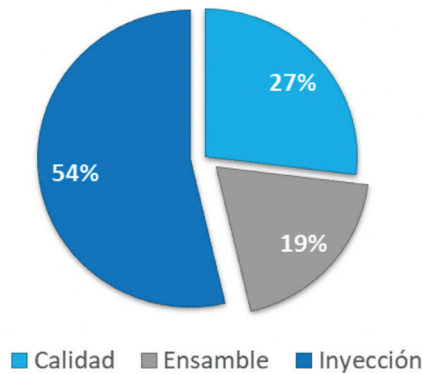


Figura 4. Participación del producto no conforme en el proceso de inyección. Fuente: elaboración propia.

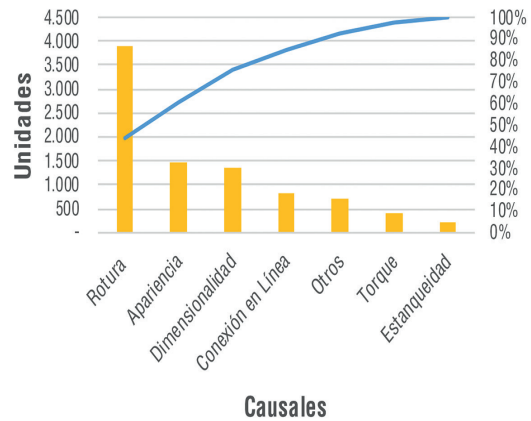


Figura 5. Causas del producto no conforme en el proceso de inyección. Fuente: elaboración propia.

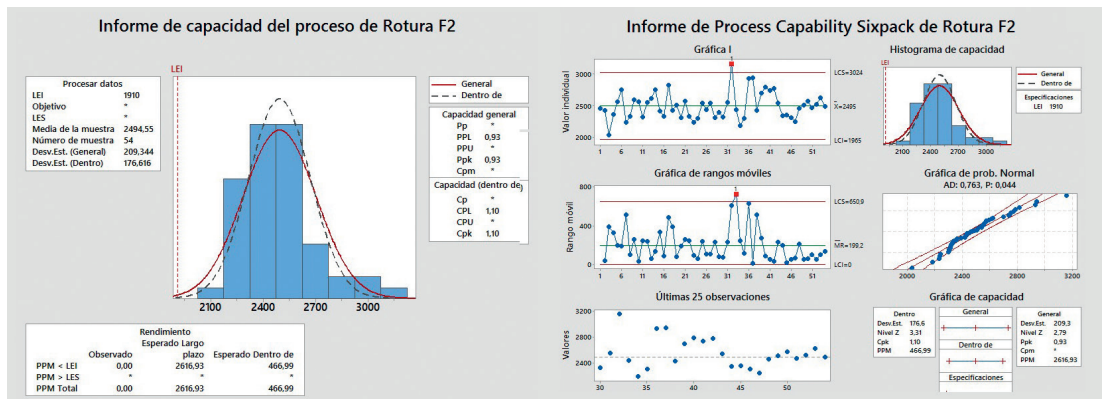


Figura 6. Análisis de capacidad de la causa rotura. Fuente: elaboración propia.

3.3.3. Búsqueda de causa raíz

Se desarrolló un diagrama Ishikawa (figura 7) para evidenciar las probables causas raíz que generan PNC en la variable rotura.

Este diagrama se basó en las 6M (mano de obra, material, máquina, métodos, medición y medio ambiente), que permiten visualizar las causas de cada aspecto que interviene en la variable rotura.

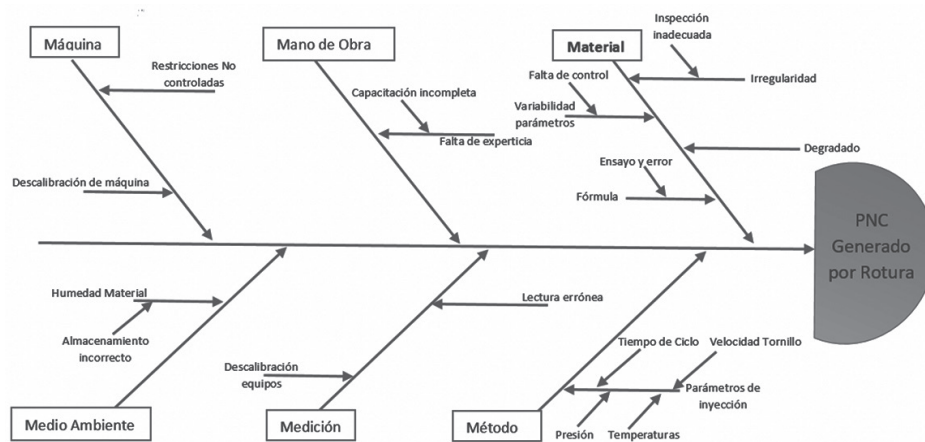


Figura 7. Diagrama Ishikawa para la variable rotura.
Fuente: elaboración propia.

La generación de PNC por las diferentes causas tiene impacto en la cadena de valor, ya que al identificar la generación de PNC se reinicia el proceso de producción y aumenta así el tiempo de las actividades que no agregan

valor, lo que genera sobrecostos a la compañía. Con base en el mapa de valor de la figura 3 se discriminaron las actividades que agregan valor y las que no al producto (tabla 1).

Tabla 1. Resumen del mapa de valor

Actividades descritas en VSM	Tiempo que no agrega valor (horas)	Tiempo que agrega valor (horas)
Transporte de materia prima y suministros	24,0	
Orden de producción		0,1
Tiempo inventario Mprima	24,0	
Montaje de molde	1,8	
Acondicionamiento de máquina*	2,0	
Inyección primeras muestras*		0,5
Enfriamiento primeras muestras*	2,0	
Aprobación calidad*		1,0
Inicio de producción*		
Control de producción		0,02
Terminación de producción		
Despeje de línea	1,6	
Desmontaje de molde	1,8	
Tiempo inventario producto en proceso	4,0	
Transporte producto a almacén	0,5	
Orden ensamble		0,1
Tiempo inventario producto en proceso	24,0	

Actividades descritas en VSM	Tiempo que no agrega valor (horas)	Tiempo que agrega valor (horas)
Ensamble de partes		
Empaque producto final		0,04
Control de empaque		
Transporte producto final a almacén	3,0	
Tiempo inventario producto terminado	24,0	
Transporte al cliente	24,0	
	136,7	1,8
Porcentaje sobre tiempo total	98,73 %	1,27 %
	Valor agregado	
	Valor no agregado	
	Tiempo necesario para continuar tras identificación de PNC	

Fuente: elaboración propia.

Cuando se presenta PNC, este debe repetir las actividades identificadas en la tabla 1 con un asterisco causando 5,5 horas adicionales al proceso de inyección por cada orden de producción que presente PNC. La planta de producción asume cada caso como una caída de proceso y los tiempos adicionales afectan el tiempo perdido de producción, lo que mantiene una relación inversamente proporcional con el indicador OEE en la compañía. En la tabla 1 también se evidencia que el tiempo que agrega valor explica el 1,27% del tiempo total, mientras que el 98,73% restante son actividades que no agregan valor al producto final. Aunque estas actividades no generan PNC, consumen costos de mano de obra y costos indirectos de fabricación.

3.4. Mejorar


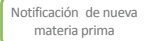
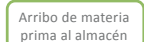
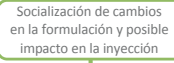


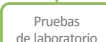
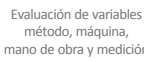



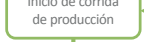
Gracias al diagrama Ishikawa (figura 7) de la fase anterior fue posible identificar que la

materia prima, el método, la máquina, la mano de obra y la medición son las causas de la rotura. Así, se planteó desarrollar un Plan de Validación de Materia Prima en Inyección (tabla 2) para controlar las diferentes variables asociadas a la materia prima que generan PNC.

3.5. Controlar

Se plantearon los diferentes controles al Plan de Validación de Materia Prima en Inyección (PVMPI) y se documentaron en el Registro de Validación de Materia Prima (tabla 3). La validación de la materia prima debe ser realizada por expertos en las diferentes áreas de la compañía, quienes determinan los riesgos de producir una gran cantidad del producto. De igual forma, se debe llevar registro de cada orden de producción con las diferentes materias primas teniendo en cuenta tiempo perdido (paros) y PNC en unidades y kilogramos.

Tabla 2. Plan de validación de materia prima en inyección

Plan de validación de materia prima en inyección				
Objetivo:	Determinar la viabilidad de utilizar la nueva materia prima desarrollada por los diferentes proveedores para estimar su impacto en la planta de inyección y evitar la generación de PNC y las actividades/recursos que este origina.			
Alcance:	Este plan abarca todas las materias primas utilizadas en inyección solo para las referencias A, B, C y D.			
Responsables:	Comité de Validación compuesto por proceso de inyección, proceso de calidad, proceso de diseño. Proveedores de materia prima.			
Procedimiento				
Actividades	Descripción	Registros	Responsables	
1				
2		El proveedor de la materia prima deberá notificar todo cambio en la formulación del compuesto PVC y el momento de su arribo a almacén.	Documento (email, carta notificación)	Proveedor Mprima
3		Una vez notificado acerca del arribo, el almacén deberá guardar la materia prima con la identificación correspondiente, asegurando las condiciones para evitar humedad.	Documento de remisión	Almacén
4		El proveedor deberá notificar a los interesados la nueva formulación del material y sus impactos en la inyección (fluidez, temperatura de fluidez, etc.).	Fichas técnicas de materia prima entregadas por el proveedor.	Proceso inyección Proceso calidad Proveedor
5		Planeación notificará a las partes interesadas del lanzamiento de una orden lote piloto que discriminará la cantidad del producto a inyectar, los parámetros previos de inyección (tiempo de ciclo), entre otras observaciones.	Orden lote piloto	Planeación
6		Ejecución de la inyección y entrega de producto a calidad.	Orden lote piloto	Proceso de inyección
7		Elaboración de pruebas de calidad.	Formato: pruebas validación, pruebas verificación control de la producción (ya definidos por la compañía)	Proceso de calidad
8		Los diferentes procesos realizarán una evaluación de todas las variables presentadas durante la ejecución de la orden lote piloto.	Registro y validación de la materia prima	Proceso de inyección Proceso de calidad
9		Considerando la evaluación de variables, el proceso de inyección determinará la cantidad de PNC resultante en una orden de producción más amplia.	Registro y validación de la materia prima	Comité de Validación
10		Con base en la evaluación de variables y la estimación del PNC, el Comité de Validación determinará la viabilidad de usar la materia prima presentada.	Registro y validación de la materia prima	Comité de Validación
11		En caso de que la evaluación determine la no viabilidad del uso de la materia prima, el Comité de Validación notificará al proveedor sobre los resultados obtenidos.	Documento (email, carta notificación)	Comité de Validación
12		Se iniciará producción bajo parámetros anteriormente definidos.	Orden de producción	Partes interesadas
13				

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Registro de Validación de Materia Prima

Registro de Validación de Materia Prima		Versión: Propuesta	
Objetivo	Determinar la viabilidad de utilizar la nueva materia prima desarrollada por los diferentes proveedores para estimar su impacto en la planta de inyección y evitar la generación de PNC y las actividades/recursos que este origina.		
Alcance	Este plan abarca todas las materias primas utilizadas en inyección solo para las referencias A, B, C y D. Comité de Validación compuesto por proceso de inyección, proceso de calidad y proceso de diseño.		
Responsables			
Nombre de materia prima:	Máquina:		
Fecha de orden lote piloto:	Referencia evaluada:		
Evaluación materia prima			
Proceso inyección			
Parámetros de máquina recomendados			
Temperaturas zonas:	Tiempo ciclo máquina:	Flujo del material:	
Tiempo ciclo total:	Velocidad del tornillo:		
Observaciones:			
Proceso calidad			
Resultados pruebas laboratorio			
Rotura:	Dimensionalidad:	Apariencia:	Conexión en línea:
Presión mín.:	Dimensión diámetro A mín.:	-	Tiempo transcurrido sin fuga:
Presión máx.:	Dimensión diámetro A máx.: -	-	-
Observaciones:			
Información del proceso			
Cantidad unidades planeadas:	Tiempo producción planeado:	Tipos de paros presentados:	
Cantidad unidades reales producidas:	Tiempo producción real:	-	
Cantidad unidades PNC:	# Paradas:		
-	Horas por paros:		
% PNC sobre producción real			
____%			
% Disponibilidad:			
% Desempeño:			
% Calidad:			
% OEE:			
Evaluación			
¿La materia prima utilizada es validada para su uso en producciones más largas?			
Sí ____			
No ____			
¿Por qué?			
Observaciones:			
Firma responsable:	Cargo:		
Firma responsable:	Cargo:		

Fuente: elaboración propia.

El impacto del PVMPI en el procedimiento de inyección se basa en la actividad de orden lote piloto, que es lanzada a producción para validar algún cambio en la materia prima. No obstante, en la actualidad no existe retroalimentación o análisis por parte del proceso de inyección hacia las áreas interesadas, por lo que la implementación del PVMPI brinda la posibilidad de aprovechar mejor la información generada en los órdenes lote piloto.

4. Resultados

Al aplicar la metodología descrita, se observó una reducción significativa en el indicador del PNC del año 2017 (figura 8). En promedio, en este año se generaron \$52 500 000 por mes, aproximadamente \$7 300 000 menos que en el año 2016.

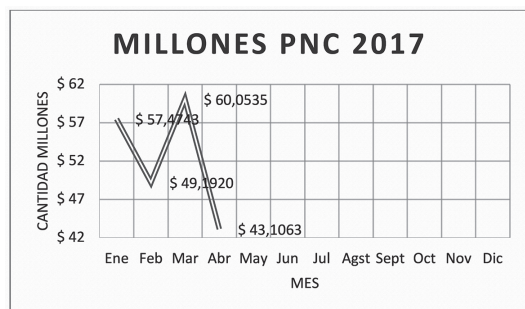


Figura 8. Indicador PNC, 2017.

Fuente: elaboración propia.

La ejecución de los planes refleja un impacto positivo en el componente días/máquina perdidos del índice de disponibilidad para el cálculo del indicador OEE. Por lo anterior, se determinó que la disminución neta a los días/máquina perdidos es del 9,3% con un ahorro de \$13 680 000 promedio por mes.

5. Conclusiones

En conclusión, la metodología Lean Six Sigma (LSS) permitió identificar que variables como la materia prima originan variabilidad en los diferentes productos y, en consecuencia, su falla en pruebas de calidad como rotura, dimensionalidad y apariencia. Estas fallas generan producto no conforme (PNC) en el proceso de inyección y activan recursos para su corrección y reprocesamiento al interior de la compañía, lo que afecta las diferentes áreas (gerencias de operaciones, financiera y general) y sus indicadores productivos. La implementación de la metodología LSS no solo generó un importante ahorro en costos, sino también la construcción de conocimiento en las diferentes áreas de la compañía. También se logró disciplina en la ejecución de los planes sugeridos.

La generación de PNC en el proceso de inyección conlleva el uso de recursos para realizar actividades y reprocesos que permitan reincorporar el PNC a la cadena productiva o darle disposición final. El PNC hace reiniciar la cadena productiva y ocasiona tiempos perdidos y pérdida de capacidad. Al identificar que una de las causas del PNC era la materia prima, se desarrolló un control determinado por el Plan de Validación de Materia Prima en Inyección, que permitió evaluar las condiciones de la materia prima en una corrida pequeña y controlada.

Según las estimaciones, tras la ejecución de los diferentes planes propuestos la compañía podría ahorrar aproximadamente \$26 462 250 en promedio por mes del costo total asociado al indicador del PNC (\$59 800 000) y los días perdidos descritos por el OEE (\$142 240 000). Así podrían mejorarse los indicadores de las diferentes áreas afectadas.

Agradecimientos

Un cálido agradecimiento a la compañía Partes y Complementos Plásticos S. A. S. y a su representante legal Luis Javier Arango por permitirme desarrollar mi trabajo de grado. A Nicolás Pachón, por su incalculable aporte, conocimiento e interés en mi crecimiento profesional; a Gustavo Adolfo Neira, por su asesoramiento en mi trabajo de grado; a Wilson Álzate, mi gran amigo, por su apoyo incondicional, y a la Universidad Central por su colaboración permanente.

Referencias

- Chase, R., Jacobs, F. y Aquilano, N. (2005). *Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva*. México D. F.: McGraw-Hill.
- George, M. (2010). *The lean six sigma guide to doing more with less. Cut costs, reduce waste, and lower your overhead*. Dallas: John Wiley & Sons, Inc.
- Gutiérrez, H. y Vara, R. (2009). *Control estadístico de calidad y Seis Sigma*. México D.F.: McGraw-Hill. Consultado en <http://bit.ly/2vYVbNO>.
- Hernández, J. y Vizán, A. (2013). *Lean manufacturing. Concepto, técnicas e implantación*. Madrid: Escuela de Organización Industrial.
- Martínez, A. (2008). *Metodología de despliegue Lean Six Sigma basada en la metodología de sistemas suaves* (tesis maestría). Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, México. Consultado en <http://bit.ly/2HmOESu>.
- Perdomo, J. y González, J. (2004). Medición de la gestión de la calidad total: una revisión de la literatura. *Cuadernos de Administración*, 17(28), 91-109.
- Rajadell, M. y Sánchez, J. (2010). *Lean manufacturing. La evidencia de una necesidad*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- Vázquez, J. (2005). Filosofía 6-sigma una metodología para mejorar la calidad de productos y servicios en el sector productivo (tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional, México D. F., México. Consultado en <http://bit.ly/30iOPXD>.