

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Posgrados

**Aplicación de Lean Six Sigma en una Empresa Gráfica Ecuatoriana:
reducción de desperdicios en la fabricación de libros.**

**Verónica Alexandra Arcos Cerda
Julio Darío Baño Correa**

**Pablo Burneo, MSc.
Director de Trabajo de Titulación**

Trabajo de titulación de posgrado presentado como requisito
para la obtención del título de Máster en Ingeniería Industrial

Quito, 13 de diciembre de 2019

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE POSGRADOS

HOJA DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

**Aplicación de Lean Six Sigma en una Empresa Gráfica Ecuatoriana:
reducción de desperdicios en la fabricación de libros**

Verónica Alexandra Arcos Cerda
Julio Darío Baño Correa

Firmas

Pablo Burneo, MSc.

Director del Trabajo de Titulación

Carlos Suárez, Ph.D.

Director del Programa de Maestría en
Ingeniería Industrial

Cesar Zambrano, Ph.D.

Decano del Colegio de Ciencias e Ingenierías

Hugo Burgos, Ph.D.

Decano del Colegio de Posgrado

Quito, 13 de diciembre de 2019

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante:

Nombre: Verónica Alexandra Arcos Cerda

Código del estudiante: 00209294

Cédula de identidad: 050268302-2

Firma del estudiante:

Nombre: Julio Darío Baño Correa

Código del estudiante: 00204205

Cédula de identidad: 171052278-8

Lugar y fecha: Quito, 13 de diciembre de 2019

RESUMEN

El presente estudio describe la aplicación de la metodología DMAIC - Lean Six Sigma en una empresa gráfica para reducir los desperdicios del proceso de fabricación de libros, siendo éste el producto de mayor venta de la empresa (54%), con el fin de optimizar los recursos e incrementar la capacidad de producción. Se estableció el cumplimiento de entregas a tiempo como CTQ (critical to quality) cuyo valor promedio del primer semestre fue del 17,59%, se estableció la línea base del OEE que oscila entre el 15%-32% como principal KPI (indicador clave) para el monitoreo y seguimiento de las implementaciones. Se compararon los tiempos de ciclo de producción con el Takt Time en cada una de las etapas del proceso, siendo impresión, doblado y encolado las restricciones de la cadena de fabricación de libros. Basado en los datos recopilados durante junio y julio se determinaron las causas de la baja utilización de las máquinas y se implementaron las 5'S, estandarización, Kanban, SMED y mantenimiento preventivo de TPM en cada una de las etapas del proceso, alcanzándose un incremento del CTQ al 67.21%. Se estimó un ahorro del 3,2% del presupuesto de ventas del 2019 así como también múltiples beneficios intangibles tales como: mayor participación de las personas, actitud de cambio, objetividad en la toma de decisiones y mejora de ambiente laboral.

ABSTRACT

This study describes the application of DMAIC - Lean Six Sigma methodology in a graphic company to reduce waste from the book-making process which is the company's best-selling product (54%), in order to optimize resources and increase production capacity. The fulfillment of time deliveries was established as CTQ (critical to quality) with an average value for the first semester of 17.59%, the OEE baseline was established from ranges in between 15% to 32% as the main KPI (key process indicator) for monitoring and following up implementations. The production cycle times were compared with the Takt Time at each stage of the process where printing, bending and gluing were the restrictions of the book manufacturing chain. Based on the collected data during the months of June and July, the causes of the low use of the machines were determined and the 5'S, standardization, Kanban, SMED and preventive maintenance of TPM were implemented at each stage of the process which increased the CTQ at 67.21%. A saving of 3.2% of the 2019 sales budget is estimated, as well as multiple intangible benefits such as: major people's participation, attitude of change, decision making objectivity and work environment improvement.

TABLA DE CONTENIDO**Contenido**

RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	5
INTRODUCCIÓN.....	7
REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
METODOLOGÍA.....	9
Fase Definir.....	9
Fase Medir.....	9
Fase Analizar.....	9
Fase Implementar.....	10
Fase Controlar.....	10
RESULTADOS.....	10
Metodología 5'S.....	12
Mantenimiento Productivo Total (TPM).....	13
Cambios Rápidos (SMED).....	13
Kanban.....	13
Estandarización.....	14
Beneficios Económicos.....	14
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	15
REFERENCIAS.....	15

Aplicación de Lean Six Sigma en una Empresa Gráfica Ecuatoriana: reducción de desperdicios en la fabricación de libros

Verónica Arcos^a, Julio Baño^b, Pablo Burneo^c

Departamento de Ingeniería Industrial

Universidad San Francisco de Quito

^avarcosc@estud.usfq.edu.ec, ^bjdbano@estud.usfq.edu.ec, ^cpsburneo@usfq.edu.ec

Resumen- El presente estudio describe la aplicación de la metodología DMAIC - Lean Six Sigma en una empresa gráfica para reducir los desperdicios del proceso de fabricación de libros, siendo éste el producto de mayor venta de la empresa (54%), con el fin de optimizar los recursos e incrementar la capacidad de producción. Se estableció el cumplimiento de entregas a tiempo como CTQ (critical to quality) cuyo valor promedio del primer semestre fue del 17,59%, se estableció la línea base del OEE que oscila entre el 15%-32% como principal KPI (indicador clave) para el monitoreo y seguimiento de las implementaciones. Se compararon los tiempos de ciclo de producción con el Takt Time en cada una de las etapas del proceso, siendo impresión, doblado y encolado las restricciones de la cadena de fabricación de libros. Basado en los datos recopilados durante junio y julio se determinaron las causas de la baja utilización de las máquinas y se implementaron las 5^sS, estandarización, Kanban, SMED y mantenimiento preventivo de TPM en cada una de las etapas del proceso, alcanzándose un incremento del CTQ al 67.21%. Se estimó un ahorro del 3,2% del presupuesto de ventas del 2019 así como también múltiples beneficios intangibles tales como: mayor participación de las personas, actitud de cambio, objetividad en la toma de decisiones y mejora de ambiente laboral.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la "mejora continua de la calidad" juega un papel importante en el éxito y la supervivencia de las organizaciones de manufactura (Venkatesh, Gowrishankar, & Sumangala, 2013), por lo que el desarrollo y la influencia del estilo japonés en Lean Six Sigma se fortalece cada día más (Chiarini, 2011).

Se ha documentado la aplicación exitosa de varias herramientas Lean en grandes industrias; tales como, electrónica, aeroespacial, automotriz que se han caracterizado por mantener modelos de producción en serie lo cual no sucede en una industria mediana (Matt & Rauch, 2013) cuyo

modelo productivo es más versátil y tiene la capacidad de elaborar diferentes tipos de productos. (Doolen & Hacker, 2005; Garre et al., 2017; Chiabert, D'Antonio, Inoyatkhodjaev, Lombardi, & Ruffa, 2015). Razón por la cual surge nuestro interés de aplicar estas metodologías en una industria mediana como es el caso de una imprenta ecuatoriana.

De acuerdo con varios autores los métodos de manufactura esbelta o de mejora de la productividad en general albergan enormes dificultades en medianas industrias porque requieren una adecuada planificación orientada hacia mantener un modelo productivo flexible que se ajusta a cambios rápidos (Denton, 2005; Safayeni, Purdy, van Engelen, & Pal, 2004; Blackwell, Shehab, & Kay, 2006) en los que se vuelve común la generación de mayores desperdicios. (Matt & Rauch, 2013).

La industria gráfica hoy en día enfrenta retos para reducir costos debido a los avances tecnológicos y costos asociados. (Lozada & Quispe, 2017) Por lo que la implementación de metodologías que permitan el uso eficiente de los recursos, reduciendo la cantidad de desperdicios podrían incrementar su competitividad en un entorno de mercado cada vez más feroz. (Lundberg & Manne, 2016).

En Ecuador existen pocos estudios sobre el impacto de la industria gráfica en el mercado nacional en contraste a otros países en los que se ha realizado un análisis del sector. (Ángel, 2015)

La imprenta objeto de estudio fabrica varios tipos de productos como materiales educativos, comerciales y publicitarios, ofreciendo también servicios de diagramación, diseño y distribución para satisfacer los requerimientos de sus clientes en un mercado altamente competitivo que valora aspectos como tiempo de respuesta, flexibilidad de los productos y servicios, precio, entre otros.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Las organizaciones se enfrentan a grandes retos y cambios constantes en el entorno impulsados por una mayor competitividad, el grado de exigencia de sus consumidores y la economía inestable de ciertos países. (Drohomeretski, Gouvea Da Costa, Pinheiro De Lima, & Garbuio, 2014) Por lo que ha surgido la necesidad de cambiar la forma tradicional con la que realizan sus operaciones, optimizando sus procesos y reduciendo sus desperdicios. (Singh, Gandhi, & Singh, 2019).

Para sobrevivir y mejorar su posicionamiento en el mercado actual, ciertas organizaciones han adoptado la metodología Lean Six Sigma (LSS) para la reestructuración de sus procesos productivos basándose en el seguimiento del rendimiento de los procesos, la reducción de costos, desperdicios y los tiempos de ciclo y, cuando está bien aplicado, conlleva al cumplimiento de objetivos, una mejora drástica de la rentabilidad y la satisfacción del cliente con productos o servicios de calidad en el menor tiempo posible creando valor para las partes interesadas. (Do Rosário Cabrita, Domingues, & Requeijo, 2015; Guerrero, Leavengood, Gutiérrez-Pulido, Fuentes-Talavera, & Silva-Guzmán, 2017; Snee & Snee, 2010)

Lean Six Sigma es la combinación de los principios de Lean Manufacturing y Six Sigma complementándose, logrando ofrecer mejores resultados que los que se obtendrían individualmente. (Do Rosário Cabrita et al., 2015; Karthi, Devadasan, & Muruges, 2011)

Lean Manufacturing se originó en Japón después de la Segunda Guerra Mundial como resultado de una profunda crisis y sobre la base de este problema, se inició un proceso sistemático para eliminar los desperdicios existentes en la organización identificando las actividades que no agregan valor -Mudas- para obtener procesos más eficientes cuya eliminación o reducción impacta favorablemente al sistema de producción. (Drohomeretski et al., 2014; La Rotta et al., 2011). Taiichi Ohno identificó siete desperdicios:

- a) Sobreproducción, producir más de lo necesario y exceso de inventario.
- b) Tiempo de espera o inactividad, no agrega valor al producto.
- c) Transporte, transferencia frecuente de materiales retrasando el procesamiento.
- d) Reprocesamiento; procesos, procedimientos o producción de bienes innecesarios.
- e) Inventarios innecesarios, cantidades de producto terminado, semielaborado o componentes con estado de inventario que no agregan valor.
- f) Movimiento no productivo del personal.
- g) Defectos; interrumpen el flujo y pueden requerir reprocesamiento. (Zahrotun & Taufiq, 2018)

Six sigma es una metodología de mejoramiento usada para reducir la variabilidad, defectos, desperdicios y costos asociados a la fabricación e incrementar la satisfacción del cliente mediante la combinación de herramientas estadísticas y administrativas en un modelo integrado de procesos y productos. (Thomas & Barton, 2008)

Los proyectos Lean Six Sigma siguen las fases del ciclo DMAIC (definir, medir, analizar, implementar y controlar) la cuales permiten la identificación y solución de problemas de manera sistemática y tangible utilizando herramientas y técnicas que sean aplicables para cada caso con soporte estadístico, garantizando que los cambios se lleven a cabo de forma efectiva y sostenible en la organización. (Deamonita, Pujiyanto, & Rosyidi, 2019; L. Socconini, 2017)

Con base a la revisión bibliográfica, revistas como Emerald, Taylor and Francis, IEEE, Inderscience, Elsevier y Google Scholar durante el periodo del 2003 al 2015 han publicado alrededor de 235 artículos relacionados con la aplicación de LSS en diferentes sectores y el 42,13% están orientados a la manufactura, en los que se ha demostrado que al aplicar LSS se obtuvo una reducción de la variabilidad e incrementó la producción de piezas de fabricación; tales como chips, componentes de PC, válvulas automotrices, entre otros. (V Raja Sreedharan R Raju, 2015).

Sobre la aplicación de Lean Six Sigma en la industria gráfica se han documentado varios casos de estudio en pequeñas empresas de impresión, como es el caso de una imprenta con sede en Ohio con 120 empleados y ventas anuales de USD \$ 1,5 millones que aplicó esta metodología para garantizar su supervivencia en el negocio de la impresión debido al incremento de los costos asociados logrando así incrementar su rentabilidad, disminuir el número de defectos y mejorar la calidad de los productos terminados. (Roth & Franchetti, 2010)

Una industria gráfica peruana implementó herramientas de Lean Manufacturing tales como: SMED y KANBAN para reducir el tiempo de set-up y los niveles de inventario mejorando la productividad y flexibilidad de sus operaciones. (Lozada & Quispe, 2017)

Una empresa de impresión de etiquetas para PYMES implementó LSS debido a la baja productividad y la gran cantidad de desperdicio generado, obteniéndose un incremento de la productividad del 21,93% mediante la implementación de SMED, 5 'S y procedimientos

operativos estándar (POE). (Chan, Jie, Kamaruddin, & Azid, 2014)

Hasta donde los autores conocen, en el Ecuador no existen registros de aplicaciones de LSS en la industria gráfica. Por lo que se considera que este proyecto es el pionero en la aplicación de esta metodología para la reducción de desperdicios en el proceso de elaboración de libros.

III. METODOLOGÍA

El caso de estudio se centrará en la disminución de los desperdicios de los procesos de fabricación de libros de la imprenta, determinando las actividades que no generan valor de tal manera que se pueda usar eficientemente los recursos a lo largo de los procesos, incrementando la capacidad de producción. (Lozada & Quispe, 2017; Roth & Franchetti, 2010)

La metodología usada en este proyecto es DMAIC que corresponde a cinco fases: definir, medir, analizar, implementar y controlar. (Roth & Franchetti, 2010)

Fase Definir

En la primera fase se realiza una investigación a lo largo de la línea de producción para identificar el problema actual que se requiere mejorar, estableciéndose los objetivos y métricas del proyecto alineados a la estrategia corporativa (Mandahawi, Fouad, & Obeidat, 2012).

Para este propósito se suelen emplear herramientas tales como la "Voz del cliente" (VOC) que consiste en establecer las necesidades y expectativas de los clientes con respecto a los productos o servicios provistos por la organización y a partir de estos requisitos definir las características críticas de la calidad que se traducen en métricas que se deben monitorear a lo largo del proyecto. (Do Rosário Cabrita et al., 2015)

Para entender los puntos clave de decisión y la funcionalidad de un determinado proceso se requiere conocer como está diseñado, por lo que Socconini recomienda el uso de herramientas tales como diagrama de flujo, SIPOC, mapa de cadena de valor, entre otros. (L. Socconini, 2017) y los problemas son detectados con base a la recolección de los datos. (Deamonita et al., 2019).

En cuanto a la industria gráfica varios autores mencionan que los principales problemas de las imprentas generalmente suelen ser el tiempo de set-up y los tiempos muertos asociados a la frecuencia de fallas en las máquinas, factores que contribuyen

al retraso de las entregas de los productos al cliente. (Lozada & Quispe, 2017; Roth & Franchetti, 2010).

Fase Medir

En esta fase se recolectan datos cualitativos y cuantitativos que permitan evaluar el desempeño actual de la organización y establecer la línea base de las métricas críticas del proceso. (Nelson, 2015)

Una de las herramientas que se puede aplicar es el Value Stream Mapping (VSM) para identificar el flujo de materiales e información de una familia de productos a lo largo de la línea de producción con el objetivo de clasificar las actividades según su valor. (Brett & Queen, 2005)

Socconini sugiere que en esta fase se describa con un mayor nivel de detalle los distintos procesos que se desean mejorar para un mayor entendimiento de los puntos claves para la toma de decisiones. (L. Socconini, 2017)

Para medir el desempeño de los procesos se utilizan diversos indicadores como el OEE que es un indicador de rendimiento simple y claro que permite determinar la eficiencia general de los equipos para tener una visión amplia de las pérdidas ocultas que traen como consecuencia un impacto en los procesos productivos. (Moreira et al., 2018)

Para su cálculo (Imagen 1) se utiliza la fórmula que considera la disponibilidad, la eficiencia de la operación y la calidad. (Moreira et al., 2018; Thomas & Barton, 2008)

$$OEE = Disponibilidad \times Eficiencia \times Calidad$$

En donde,

$$Disponibilidad = \frac{\text{tiempo disponible para producir}}{\text{tiempo de producción teórica}}$$

$$Eficiencia = \frac{\text{tiempo teórico para producir cantidad real}}{\text{tiempo disponible para producir}}$$

$$Calidad = \frac{\text{Cantidad producida} - \text{Cantidad Defectuosa}}{\text{Cantidad producida}}$$

Imagen 1. Fórmula de cálculo de OEE (Eficiencia total de los equipos) (Moreira et al., 2018)

Fase Analizar

La data recopilada en la fase medir se analiza para identificar los cuellos de botella, las actividades que agregan valor y todas las actividades que no agregan valor a lo largo de la línea de producción para identificar las principales causas de los problemas por lo que constituye una etapa determinante en esta

metodología. (Brett & Queen, 2005; Roth & Franchetti, 2010).

Con esta finalidad, generalmente se emplean herramientas estadísticas y analíticas tales como: estadística descriptiva, box plots, diagrama de Pareto, Ishikawa para visualizar los problemas de forma clara y determinar las oportunidades de mejora de los procesos. (L. Socconini, 2017)

Fase Implementar

En esta fase se trata de buscar las mejores alternativas de mejora utilizando la creatividad para obtener resultados rápidos y con bajo costo. (Pallavi Sharma, Gupta, & P C Jha, 2017)

Lozada & Quispe mencionan en su publicación, que al analizar el VSM de la principal línea de producción de la industria gráfica objeto de estudio se identificó que el tiempo de set-up incrementa el tiempo de ciclo por lo que sugieren la implementación de SMED con el objetivo de lograr una mayor flexibilidad de los procesos. (Lozada & Quispe, 2017)

Indrawati, Pratiwi, Sunaryo & Azzam mencionan que es importante la aplicación de la metodología 5S en conjunto con SMED para potencializar los resultados. (Indrawati, Pratiwi, Sunaryo, & Azzam, 2018) En la imprenta se deberán realizar pruebas piloto de las mejoras para que de esta manera se garantice que la implementación sea exitosa.

Fase Controlar

Durante esta etapa se busca desarrollar un conjunto de sistemas de control y seguimiento que permitirán a la organización manejar las variaciones del proceso en el futuro. (Roth & Franchetti, 2010)

Roth & Franchetti sugieren la utilización de procedimientos de operación estándar (SOP) que consiste en operaciones claras, útiles para reducir o eliminar las variaciones producidas por el operador. (Roth & Franchetti, 2010) Adicionalmente se sugiere plantear planes para la medición de la implementación y reacción en caso de fallas, así como también la comunicación de los resultados dentro de la organización. (Nelson, 2015)

Dadas las restricciones de tiempo del proyecto, en el presente estudio no se implementará la fase de control; sin embargo, se otorgarán los lineamientos y la documentación necesaria para su ejecución.

IV. RESULTADOS

Basado en las entrevistas realizadas con el personal de ventas de la familia Offset se estableció que la

imprenta ha presentado dificultades en el cumplimiento en el tiempo de entrega de los pedidos de libros como se muestra en la Imagen 2, lo que podría generar que la organización pueda perder los contratos de varios de sus principales clientes durante el 2019, cuyo impacto económico podría ascender a 1,4 millones de dólares equivalente al 18,15% de los ingresos esperados para el período mencionado. Este incumplimiento de los tiempos de entrega de libros a tiempo se ha definido como la característica crítica de calidad (CTQ) evaluada durante el desarrollo de este proyecto. Además de esta potencial pérdida de clientes, la empresa por falta de cumplimiento de entregas a tiempo ha experimentado un incremento de horas extras del personal y costos asociados a los procesos con grandes pérdidas y desperdicios (MUDAS); por lo que, surge la necesidad de implementar herramientas de la metodología Lean Six Sigma para mejorar el tiempo de entrega de los pedidos e incrementar la flexibilidad de la organización.

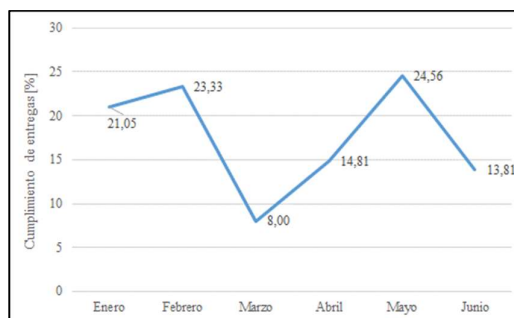


Imagen 2. Porcentaje de cumplimiento de entregas a tiempo de libros al cliente final enero-junio 2019

El desarrollo del presente estudio inicia con la elaboración del mapa de flujo de valor (VSM) de la familia offset, cuyo principal producto son los libros que correspondieron al 54 % de las ventas durante el 2018 y similar proporción en la planificación de producción del 2019. Se determinó el tiempo de ciclo, takt time, cantidad de máquinas y operarios, niveles de inventarios en cada estación de trabajo; así como también el flujo de la información dentro de la imprenta como se muestra en la Imagen 3.

El VSM muestra niveles altos de inventarios en proceso y los tiempos de ciclo de las prensas, dobladoras de pliegos y encoladoras son superiores al takt time establecido para cada estación por lo que constituyen restricciones para la fabricación de libros.

Se realizó el diagrama de flujo detallado As-Is de la producción de libros determinándose los puntos de medición. Se recolectaron los datos para el cálculo del OEE durante el período comprendido desde el 03 de junio hasta el 28 de junio del 2019,

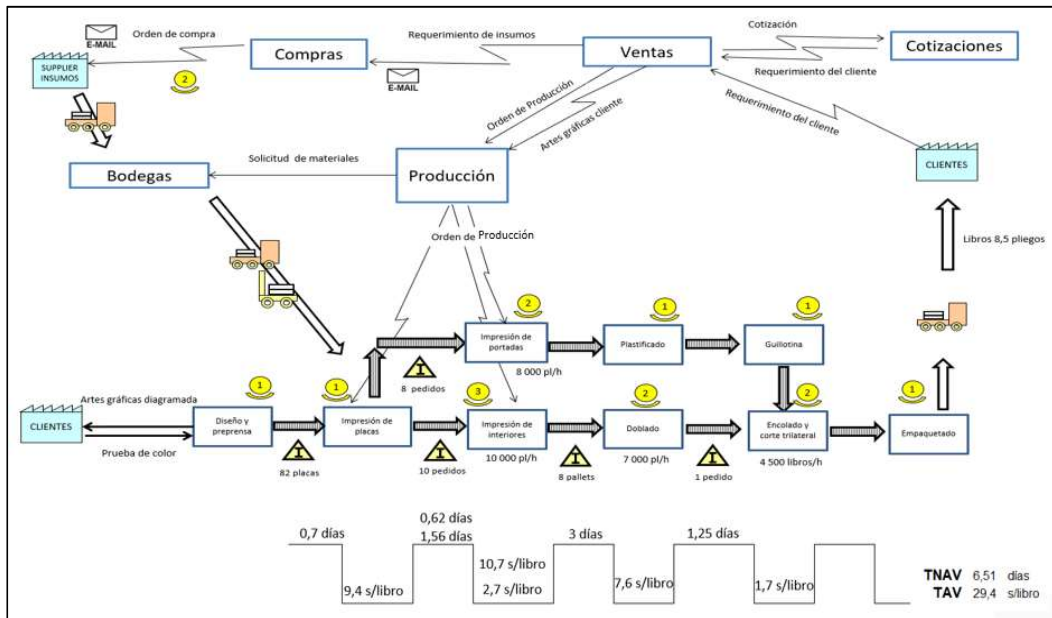


Imagen 3. Mapa de flujo de valor (VSM) actual de la producción de libros.

obteniéndose los siguientes valores de OEE de las máquinas:

-Prensa CD102-4	28,43 %
-Prensa SX102-8 P5	35,86 %
-Dobladora de pliegos TH82-1	32,15 %
-Encoladora	22,82 %

Analizando a detalle los valores de OEE de cada una de las máquinas, se observó que presentaban una gran cantidad de paros por falla de máquinas; por lo que, para un mejor entendimiento de las fallas de las máquinas se monitoreó y controló el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio para reparación (MTTR) para cada una de las máquinas obteniéndose la frecuencia promedio de ocurrencia de las fallas y la cantidad de tiempo que se tarda en su reparación.

Como se muestra en la Tabla 1, en la organización independientemente de la máquina, una falla sucedía en promedio cada 12,25 horas y el tiempo de reparación puede tomar alrededor de 3.56 horas afectando la disponibilidad de la máquina debido a la disminución del tiempo operativo, retrasando la producción de los pedidos planificados, afectando el cumplimiento de las entregas de los libros al cliente final causando insatisfacción y pérdida de credibilidad en la empresa.

Tabla 1. Frecuencia y tiempo de duración medio de las fallas.

Máquina	MTBF [h/falla]	MTTR [h/falla]
CD 102-4	13,49	2,66
SX 102-8	23,49	3,52
TH82-1	12,25	1,7
Wohlenberg	29,13	3,26

Con toda la información recopilada se realizó un diagrama de Ishikawa en conjunto con el personal de la organización para identificar las principales causas que afectan a la disponibilidad de las máquinas que conllevó a bajos índices de OEE y se determinó que se debe principalmente a cuatro factores en orden de importancia:

- Falta de orden y limpieza en las áreas.
- Constantes paros de máquina y largos tiempos de set-up, lo cual disminuye la utilización.
- Altos niveles de inventario encontrado a lo largo de la línea de producción.
- No existen procedimientos operativos estándar.

Durante numerosas caminatas Gemba llevadas a cabo por la imprenta, se determinó la necesidad de implementar la metodología 5'S debido a la falta de orden y limpieza en todas las áreas. Se desarrolló un plan sistemático para aplicar y mantener continuamente las etapas: selección, orden y limpieza, reduciendo costos al maximizar la eficiencia, efectividad y rendimiento de los procesos mediante el establecimiento y mantenimiento de un entorno de trabajo limpio y ordenado. (Suárez-Barraza & Ramis-Pujol, 2012)

Para el exceso de inventario en proceso y de materia prima se desarrolló un sistema de control del material basado en el sistema KANBAN con el que se pretende reducir tanto la cantidad de inventario de materia prima en proceso y los tiempos de espera de abastecimiento de material. (Lozada & Quispe, 2017)

El análisis realizado demostró que la impresión, doblado y encolado presentaron una gran cantidad de paras, así como también una alta frecuencia de ocurrencia de las fallas; por lo que, se realizó un evento Kaizen TPM arrancando con una super limpieza en cada una de las máquinas para determinar el estado, anomalías y lograr el involucramiento del personal a todo nivel. El evento se encontraba enfocado en mejorar la disponibilidad y estabilidad de las máquinas, siendo el núcleo de la gestión de operaciones debido a que ayuda a mantenerlas en su máximo nivel productivo a través de la colaboración de todas las áreas funcionales de una organización. (H & Rodrigues, 2014)

La encoladora a más de presentar constantes paras por fallas, tiene el mayor índice de tiempo muerto debido a las actividades de set-up por lo que se realizó un evento Kaizen -SMED para acortar los tiempos de cambios de productos o alistamiento de las máquinas para así responder a las fluctuaciones de la demanda. (Lozada & Quispe, 2017) Finalmente se creó un plan de trabajo estandarizado para mantener y controlar las actividades a través del proceso. (Roth & Franchetti, 2010)

Metodología 5S

Para la evaluación inicial del nivel de 5S de la organización se consideró una auditoría inicial para conocer y evaluar el estado de la imprenta antes de la implementación. Para ello se realizó una lista de verificación en la que para cada fase se desarrollaron afirmaciones que evalúan las consideraciones propias de cada etapa y en conjunto el orden y limpieza de las áreas.

Tabla 2. Auditoría inicial de la metodología 5'S en las áreas piloto.

Fase	Porcentaje [%]
Seleccionar	3,33
Ordenar	5,00
Limpiar	3,33
Estandarización	0,00
Seguimiento	0,00

Como se puede observar en la Tabla 2, cada valor representa el promedio alcanzado de las áreas piloto durante la primera evaluación; obteniéndose un estado inicial en el que se evidencia la total falta de

hábitos y criterios de orden y limpieza en la organización.

Para la implementación exitosa de las 5S se definieron 4 fases de trabajo: planificación, implementación, formalización y cultura. En la primera fase se difundió la metodología en el interior de la imprenta, definiéndose la extensión de las zonas 5'S y el equipo de trabajo, así como también, los roles y responsabilidades de cada miembro del equipo.

En la implementación se realizó una limpieza a fondo de las áreas piloto, se identificaron los objetos innecesarios, se establecieron ciertos criterios y se limpiaron cuidadosamente las máquinas e instalaciones. Dentro de esta fase se encuentra la ejecución de las etapas: seleccionar, ordenar y limpiar.

En la formalización se enfocó en dar a conocer los resultados obtenidos en las fases anteriores, en esta se encuentra la ejecución de la estandarización en la que se elaboró el manual de 5'S que recopiló los criterios empleados en cada etapa, conceptos relevantes y los pasos para la implementación de la metodología en otras áreas de la organización.

La última fase no está considerada dentro del alcance de este estudio por lo que se analizaron los lineamientos para mantener lo alcanzado haciendo referencia a la quinta 'S' que corresponde al seguimiento.

La implementación de la metodología fue ordenada y sistemática, acompañada de auditorías de seguimiento, considerando como criterio para determinar el avance de una etapa a otra la obtención de un puntaje mínimo del 80% del cumplimiento de los requisitos de la lista de verificación de la auditoría. La duración de cada etapa fue alrededor de 4 a 5 semanas en la que la implementación de las tres primeras etapas de la metodología 5S permitió mejorar la limpieza, organización y utilización de las áreas que a su vez incidió en el incremento del aprovechamiento del tiempo.

Los resultados de las auditorías de seguimiento obtenidos durante la fase de implementación se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de las auditorías de seguimiento de la metodología 5'S en las áreas piloto.

Fase	Porcentaje [%]
1ra auditoría: Seleccionar	86,67
2da auditoría: Ordenar	85,00
3ra auditoría: Limpiar	83,33

4ta auditoría: Selecciona, ordenar y limpiar	81.66
--	-------

Mantenimiento Productivo Total

Se continuó con la implementación de ciertos conceptos de Mantenimiento Productivo Total (TPM) en respuesta a los constantes paros por fallas, baja utilización de las máquinas y a la incapacidad de cumplir con las tareas a tiempo. Se llevaron a cabo un evento Kaizen- TPM enfocado en la ejecución programada de una super limpieza de cada una de las máquinas con todo el personal interesado logrando el involucramiento de los miembros del equipo en todas las actividades asociadas al mantenimiento, se identificó el estado actual y anomalías existentes para mejorar la disponibilidad del OEE e introducir la metodología en la organización. (Mateo Martínez, 2010)

La implementación del TPM suele tomar varios años dependiendo del esfuerzo combinado de las actividades de producción y mantenimiento y de varios factores; tales como: compromiso de la dirección, recursos, competencia del personal, entre otros. (H & Rodrigues, 2014; Mateo Martínez, 2010)

TPM tiene sus pilares sobre los cuales se construye la estructura completa de la metodología, por motivos de tiempo y alcance no se aplican las mejoras en su totalidad; sin embargo, se implementaron mejoras de corto alcance que permitieron confirmar la validez y efectividad de la metodología.

En este estudio se desarrollaron los pilares de capacitación y mantenimiento preventivo logrando que los operadores realicen rutinas de limpieza y mantenimientos menores. (H & Rodrigues, 2014) Se implementó un módulo de mantenimiento preventivo en el software de la imprenta para la revisión de las partes según la frecuencia establecida y se monitoreó el cumplimiento de las actividades, estableciéndose el indicador de cumplimiento de mantenimiento preventivo como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Seguimiento del indicador de mantenimiento preventivo.

Mes	Cumplimiento mantenimiento preventivo [%]
Octubre	83,12
Noviembre	89.74

Single minute Exchange of die (SMED)

El análisis realizado demostró que la encoladora presenta el mayor índice de tiempo muerto debido a actividades de set-up, estos valores oscilan entre el 18% y 28 % del tiempo total de producción por lo

que se implementó la herramienta SMED (single minute exchange of die) que consiste en la identificación y clasificación de las actividades de setup interno (Lozada & Quispe, 2017) del proceso de encolado y corte. Se grabó un video para facilitar el análisis de las actividades y registrar su duración, seguido de la separación y conversión de las actividades internas en externas. Se eliminaron los desperdicios tanto de las actividades internas como externas y finalmente se procedió con la estandarización del nuevo procedimiento de cambio de producto.

En la Tabla 5 se muestran la comparación del tiempo de setup de las actividades realizadas durante un cambio de producto antes y después de la implementación del SMED en la encoladora.

Tabla 5. Actividades llevadas a cabo durante el setup en la encoladora para un cambio de todos los insumos y útiles de corte.

Actividades de setup internas	Antes Tiempo	Después Tiempo
	[min]	[min]
Limpieza de goma PUR del colero lateral	15	13
Limpieza de goma PUR de colero de lomo	30	28
Cambio de cuchilla frontal de guillotina	7	5
Cambio de cuchillas laterales de guillotina	5	3
Cargar pliegos en los casilleros	5	5
Cargar portadas en el alimentador	5	3
Calibración de ancho de la grafa de la portada	3	2
Ajuste de medidas de corte finales del libro	4	3
Tiempo total de cambio	74	62

Con esta herramienta se ha alcanzado una reducción entre el 11% y 16% del tiempo de cambio de producto que no solamente permitió agilizar las actividades y el flujo de las operaciones, sino que se transformó el tiempo ahorrado en actividades que generaron valor para la imprenta.

Kanban

Se estableció un sistema de control visual KANBAN que limita el nivel de inventarios de tal forma que agilite el procesamiento y se mejore los tiempos de respuesta. La imprenta perdía alrededor del 28% del tiempo operativo por desabastecimiento de material; por lo que, se analizaron los datos históricos durante el período enero-junio del 2019 y

se definió la cantidad de materia prima necesaria a moverse entre los procesos.

Los operadores de las prensas utilizan el material requerido para la impresión ubicado en la zona de almacenamiento temporal de materia prima y el responsable de bodega recibe la señal y procede con el abastecimiento como se muestra en la Imagen 4, lográndose una reducción del 85% del tiempo de espera.

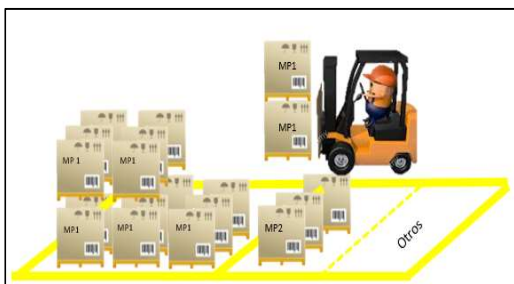


Imagen 4. Abastecimiento de materia prima.

Estandarización

Se documentaron las operaciones claves para la organización de tal forma que los operadores realicen las actividades de forma estándar asegurando que todas las mejoras descritas se mantengan y se mejoren.

Con la implementación de las herramientas Lean Six Sigma se observa un incremento de la media del OEE de las máquinas, siendo los niveles actuales:

- Prensa CD102-4 62,4 %
- Prensa SX102-8 P5 65,0 %
- Dobladora de pliegos TH82-1 63,8 %
- Encoladora 46.3 %

La implementación del mantenimiento preventivo y las acciones resultantes del evento Kaizen realizado en las máquinas ha permitido una mejora en el tiempo entre la ocurrencia de fallas, así como también una reducción del tiempo de reparación como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Frecuencia y tiempo de duración medio de las fallas.

Máquina	MTBF [h/falla]	MTTR [h/falla]
CD 102-4	60,23	1,70
SX 102-8	99,43	2,21
TH82-1	46,06	1,12
Wohlenberg	48,63	1,63

Esto ha permitido el incremento del cumplimiento de las entregas de libros producidos a tiempo. Como se muestra en la Imagen 4, el promedio del cumplimiento de las entregas de libros del primer semestre fue del 17,59% y se observa un

acrecentamiento del porcentaje de cumplimiento de entregas (CTQ) por efecto del incremento del OEE de las máquinas (KPI). Se ha alcanzado un 67.21% lo que ha permitido al equipo de ventas enfocar sus esfuerzos en esta familia de productos cuya credibilidad disminuyó en los últimos años.

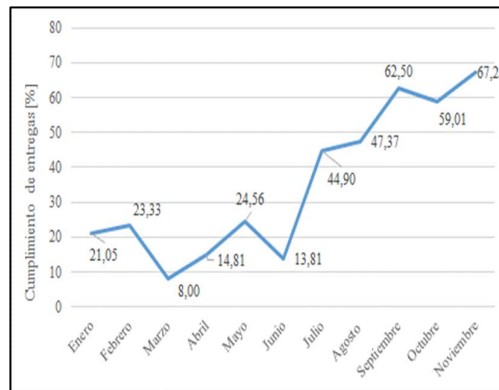


Imagen 5. Porcentaje de cumplimiento de entregas a tiempo de libros al cliente final enero-junio 2019.

Beneficios económicos

Se realizó una evaluación económica de los resultados alcanzados debido a las mejoras implementadas a lo largo de la duración de este proyecto. Para esto se definió como medida de referencia un libro estándar debido a la amplia gama de productos que la imprenta produce, facilitando la estimación de los beneficios alcanzados por efecto de la metodología.

El costo unitario por libro estándar se calculó considerando los costos fijos y variables de cada mes y se estimó la cantidad de libros estándar que se debieron producir a partir de la cantidad de libros reales producidos. Se calculó el promedio del costo unitario del primer semestre del 2019 (sin mejoras) y el promedio del costo unitario del último trimestre (mejoras implementadas), obteniéndose una reducción del 13 % de este costo unitario por efecto de las mejoras implementadas que se reflejan en los principales indicadores.

El promedio del porcentaje de sobreproducción durante el primer semestre fue del 11,2% y mediante la aplicación de las herramientas antes descritas se logró una disminución del 47%, llegándose al 5,9% de sobreproducción.

El beneficio económico total de la imprenta durante el período agosto-noviembre está conformado por el ahorro obtenido por el incremento del OEE y la disminución de la sobreproducción, alcanzándose un ahorro equivalente al 3,2% de la proyección anual de ventas del período 2019.

Se han evidenciado beneficios intangibles resultado de los esfuerzos de la organización durante este proyecto tales como:

- Toma de decisiones basado en datos.
- Mejoramiento del ambiente laboral debido al nivel de motivación, actitud de cambio, orden y limpieza de las áreas involucradas.
- Mayor participación del personal a todo nivel en el mejoramiento continuo de la organización, lo cual ha facilitado la forma en la que ejecutan sus actividades diarias.
- Incremento de la competencia del personal.
- Acrecentamiento de la confianza y credibilidad interna y externa de la organización.

V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En conclusión, las mejoras realizadas para reducir los grandes desperdicios de la imprenta como esperas, sobreproducción, inventario; permitieron generar mayor satisfacción del cliente y mejorar sus procesos productivos.

Este trabajo se enfocó en mejorar el cumplimiento de entrega de libros a tiempo, alcanzándose un incremento de al menos 40 puntos porcentuales, lográndose la retención y confianza de sus principales clientes y el enfoque de los vendedores en esta familia de productos para incrementar y potencializar sus ventas.

Se alcanzó una reducción entre el 11% y el 16% del tiempo de setup, permitiéndole a la organización ser más flexible.

Se obtuvo una reducción del 85% del tiempo de espera por desabastecimiento de materiales a las prensas, estableciéndose un sistema Kanban.

Se extendió la frecuencia de las fallas y se disminuyó el tiempo de reparación de cada máquina mediante la implementación de los pilares de mantenimiento preventivo y capacitación de la metodología TPM con la aplicación en conjunto de las 5'S que potencializan los resultados obtenidos.

Se alcanzó el 81,66% de cumplimiento de la auditoría de seguimiento de la metodología 5'S, lo que le permite a la imprenta avanzar hacia las siguientes fases.

Se estimó un ahorro del 3,2% del presupuesto de ventas del 2019 considerando un estándar de medición (libro estándar).

Se recomienda mayor participación de la alta gerencia promoviendo caminatas GEMBA para detectar oportunidades de mejora permitiendo a la organización afianzarse en la mejora continua. Y a

través de un sistema de sugerencias fomentar nuevos planes de mejora.

Es necesario definir un proceso de control de calidad y mejora continua para verificar cumplimientos y sostener la metodología Lean Six Sigma.

Se debe continuar con el desarrollo del personal iniciado con este proyecto para que realicen sus actividades correctamente y se mantenga el nivel de participación y motivación alcanzada.

Se debería realizar eventos Kaizen periódicos de tal forma que se mejoren los procesos. Se ha demostrado durante este proyecto que la metodología permite mejorar la productividad y rentabilidad de la imprenta.

Se debe extender la metodología Lean Six Sigma a toda la organización para alinear los objetivos y esfuerzos de la empresa hacia la mejora continua.

VI REFERENCIAS

- Venkatesh, N., Gowrishankar, M. C., & Sumangala, C. (2013). Study and analysis of implementation of Six-Sigma: a case study of an automobile industry. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 13(1), 19. <https://doi.org/10.1504/ijpqm.2014.057958>.
- Chiarini, A. (2011). Japanese total quality control, TQM, deming's system of profound knowledge, BPR, lean and six sigma: Comparison and discussion. *International Journal of Lean Six Sigma*, 2(4), 332–355. <https://doi.org/10.1108/20401461111189425>.
- Doolen, T. L., & Hacker, M. E. (2005). A review of lean assessment in organizations: An exploratory study of lean practices by electronics manufacturers. *Journal of Manufacturing Systems*, 24(1), 55–67. [https://doi.org/10.1016/S0278-6125\(05\)80007-X](https://doi.org/10.1016/S0278-6125(05)80007-X).
- Garre, P., Nikhil Bharadwaj, V. V. S., Shiva Shashank, P., Harish, M., & Sai Dheeraj, M. (2017). Applying lean in aerospace manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 4(8), 8439–8446. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.07.189>.
- Chiabert, P., D'Antonio, G., Inoyatkhodjaev, J., Lombardi, F., & Ruffa, S. (2015). Improvement of powertrain mechatronic systems for lean automotive manufacturing. *Procedia CIRP*, 33, 53–58. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.06.011>.
- Matt, D. T., & Rauch, E. (2013). Implementation of lean production in small sized enterprises. *Procedia CIRP*, 12, 420–425. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.09.072>.

- Denton, P. D. (2005). Implementing strategy-led BPR in a small manufacturing company. (435), 1–8. <https://doi.org/10.1049/cp:19970113>.
- Blackwell, P., Shehab, E. M., & Kay, J. M. (2006). An effective decision-support framework for implementing enterprise information systems within SMEs. *International Journal of Production Research*, 44(17), 3533–3552. <https://doi.org/10.1080/00207540500525270>.
- Safayeni, F., Purdy, L., van Engelen, R., & Pal, S. (2004). Difficulties of Just-in-Time Implementation: A Classification Scheme. *International Journal of Operations & Production Management*, 11(7), 27–36. <https://doi.org/10.1108/eum000000001272>.
- Ángel, M.-R. M. (2015). Detonadores de la modernización tecnológica en la industria gráfica de México: una metodología y un caso de éxito. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 16(3), 317–334. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2015.05.002>
- Brett, C., & Queen, P. (2005). Streamlining Enterprise Records Management with Lean Six Sigma. *Information Management Journal*, 39(6), 58–62. Retrieved from http://search.proquest.com/docview/227751781?accountid=8144%5Cnhttp://sfx.aub.aau.dk/sfxaub?url_ver=Z39.88-2004&rft_val_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:journal&genre=article&sid=ProQ:ProQ%3Aproq&atitle=Streamlining+Enterprise+Records+Management+with+Lean+Six+Sig
- Chan, J., Jie, R., Kamaruddin, S., & Azid, I. A. (2014). Implementing the Lean Six Sigma Framework in a Small Medium Enterprise (SME) – A Case Study in a Printing Company. *Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, (2012), 387–396.
- Deamonita, A. I. L., Pujiyanto, E., & Rosyidi, C. N. (2019). The implementation of lean six sigma in a book manufacturing company: A case study. *AIP Conference Proceedings*, 2097(April). <https://doi.org/10.1063/1.5098220>
- Do Rosário Cabrita, M., Domingues, J. P., & Requeijo, J. (2015). Application of lean six-sigma methodology to reducing production costs: Case study of a Portuguese bolts manufacturer. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 11(4), 221–230. <https://doi.org/10.1080/17509653.2015.1094755>
- Drohomeretski, E., Gouvea Da Costa, S. E., Pinheiro De Lima, E., & Garbuio, P. A. D. R. (2014). Lean, six sigma and lean six sigma: An analysis based on operations strategy. *International Journal of Production Research*, 52(3), 804–824. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.842015>
- Guerrero, J. E., Leavengood, S., Gutiérrez-Pulido, H., Fuentes-Talavera, F. J., & Silva-Guzmán, J. A. (2017). Applying lean six sigma in the wood furniture industry: A case study in a small company. *Quality Management Journal*, 24(3), 6–19. <https://doi.org/10.1080/10686967.2017.11918515>
- H, N. K., & Rodrigues, L. L. R. (2014). A Pilot Study for Total Production Management in Printing Industry. *Indian Journal of Applied Research*, 4(12), 476–479.
- Indrawati, S., Pratiwi, M. E., Sunaryo, & ‘Azzam, A. (2018). The effectiveness of single minute exchange of dies for lean changeover process in printing industry. *MATEC Web of Conferences*, 154, 01064. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815401064>
- Karthi, S., Devadasan, S. R., & Muruges, R. (2011). Integration of lean Six-Sigma with ISO 9001:2008 standard. *International Journal of Lean Six Sigma*, 2(4), 309–331. <https://doi.org/10.1108/20401461111189416>
- L. Socconini. (2017). *LEAN SIX SIGMA Green Belt Handbook*.
- La Rotta, D., Madera, Y., Restrepo, G., Vanegas, J., Parra, C., Sanchez, K., ... Perez, J. (2011). *Identificación y caracterización de mudas en pymes manufactureras incorporando la perspectiva del nivel operativo*. 19, 396–408.
- Lozada, S. W., & Quispe, G. W. (2017). Lead Time reduction model for lean production systems and requirements in the graphic industry sector | Modelo de reducción del Lead Time para sistemas de producción de arrastre y bajo pedido en el sector de la industria gráfica. *CISCI 2017 - Decima Sexta Conferencia Iberoamericana En Sistemas, Cibernética e Informatica, Decimo Cuarto Simposium Iberoamericano En Educacion, Cibernética e Informatica, SIECI 2017 - Memorias*, (Cisci), 102–108.
- Lundberg, M., & Manne, C. (2016). *Reducing Paper Waste to Improve Resource Efficiency at a Swedish Printing and Packaging Company*.
- Mandahawi, N., Fouad, R. H., & Obeidat, S. (2012). *An Application of Customized Lean Six Sigma to Enhance*. 6(1), 103–109.
- Mateo Martínez, R. (2010). Causas de fallo en la implantación del TPM y modelo de puesta en marcha integrador. *WPOM-Working Papers on Operations Management*, 1(1), 12. <https://doi.org/10.4995/wpom.v1i1.792>
- Moreira, A., Silva, F. J. G., Correia, A. I., Pereira, T., Ferreira, L. P., & De Almeida, F. (2018).

- Cost reduction and quality improvements in the printing industry. *Procedia Manufacturing*, 17, 623–630. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.107>
- Nelson, E. (2015). *Using Six Sigma and Lean in the Library Using Six Sigma and Lean in the Library*. 1316. <https://doi.org/10.1080/10691316.2015.1070701>
- Pallavi Sharma, S. C. M., Gupta, A., & P C Jha. (2017). International Journal of Quality & Reliability Management process Article information : About Emerald www.emeraldinsight.com Emerald is a global publisher linking research and practice to the benefit of society . The company manages a portfolio of. *Penerapan Pengendalian Mutu*.
- Roth, N., & Franchetti, M. (2010). Process improvement for printing operations through the DMAIC lean six sigma approach: A case study from northwest Ohio, USA. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(2), 119–133. <https://doi.org/10.1108/20401461011049502>
- Singh, H., Gandhi, S. K., & Singh, J. (2019). Assessing lean thinking using value stream mapping in a manufacturing unit - a case study. *International Journal of Business Excellence*, 17(3), 306. <https://doi.org/10.1504/ijbex.2019.10019305>
- Snee, R. D., & Snee, R. D. (2010). *International Journal of Lean Six Sigma Lean Six Sigma – getting better all the time*. <https://doi.org/10.1108/20401461011033130>
- Suárez-Barraza, M. F., & Ramis-Pujol, J. (2012). An exploratory study of 5S: a multiple case study of multinational organizations in Mexico. *Asian Journal on Quality*, 13(1), 77–99. <https://doi.org/10.1108/15982681211237842>
- Thomas, A., & Barton, R. (2008). *Applying lean six sigma in a small engineering company – a model for change*. <https://doi.org/10.1108/17410380910925433>
- V Raja Sreedharan R Raju. (2015). International Journal of Lean Six Sigma Article information : *International Journal of Le*, 7(4), 1–54.
- Zahrotun, N., & Taufiq, I. (2018). Lean Manufacturing: Waste Reduction Using Value Stream Mapping. *E3S Web of Conferences*, 73, 07010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187307010>