



Lean, Seis Sigma y Herramientas Cuantitativas: Una Experiencia Real en el Mejoramiento Productivo de Procesos de la Industria Gráfica en Colombia.

PÉREZ VERGARA, ILEANA GLORIA

Programa de Ingeniería Industrial

Universidad de San Buenaventura Cali (Colombia)

Correo electrónico: ileper@yahoo.com

ROJAS LÓPEZ, JOSÉ ALBERTO

Programa de Ingeniería Industrial

Universidad de San Buenaventura Cali (Colombia)

Correo electrónico: jarojas2@usbcali.edu.co

RESUMEN

Los niveles de competitividad que la globalización impone a las empresas, les exige emplear herramientas para mejorar continuamente los niveles de productividad y eficiencia en sus procesos productivos. Dentro de la clasificación de desperdicios que afectan la productividad, destaca el tiempo como uno de los más incidentes, siendo el tiempo de respuesta, desde que el cliente coloca el pedido hasta que la empresa se lo entrega físicamente, un factor diferenciador entre un proveedor y otro, pues los clientes valoran la entrega oportuna como criterio prioritario. En empresas que trabajan bajo pedido y emplean sistema pull, el tiempo de cambios de referencias es un factor que incide directamente en el tiempo del ciclo, por lo que reducirlo, incidirá directamente en el nivel de servicio. Entre las causas más frecuentes que generan retrasos se encuentra la mano de obra y los métodos de trabajo pudiéndose reducir sus impactos con la participación de los operarios en el proceso de toma de decisiones.

En este trabajo se muestra un modelo, que combina herramientas de Seis Sigma y Lean Manufacturing, con la simulación discreta y la priorización de actividades según procesos participativos soportados en métodos multicriteriales y se muestran los resultados de su aplicación en un caso real de una compañía de artes gráficas colombiana.

Palabras claves: Seis Sigma; manufactura esbelta; simulación discreta; métodos multicriterio; mejora continua.

Clasificación JEL: C44.

MSC2010: 62F30.

Lean, Six Sigma and Quantitative Tools: A Real Experience in the Productive Improvement of Processes of the Graphic Industry in Colombia.

ABSTRACT

The levels of competitiveness that globalization imposes on companies, requires them to use tools to continuously improve the levels of productivity and efficiency in their production processes. Within the classification of waste that affect productivity, highlights the time as one of the most incidents, being the response time, since the customer places the order until the company delivers it physically, a differentiating factor between a supplier and another, as customers value timely delivery as a priority criterion. In companies that work on demand and use a pull system, the time of change of references is a factor that directly affects the time of the cycle, so improving the time of the enlistment of the machines will directly affect the level of service. Among the most frequent causes that generate delays are labor and work methods, and their impacts can be reduced with the participation of operators in the decision-making process.

This paper shows a model that combines Six Sigma and Lean Manufacturing tools, with discrete simulation and prioritization of activities according to participatory processes supported by multicriterial methods, and shows the results of its application in a real case to reduce times of reference changes in a key process of a graphic arts company.

Keywords: Six Sigma; lean manufacturing; discrete simulation; multicriteria methods; continuous improvement.

JEL classification: C44.

MSC2010: 62F30.



1. Introducción

El desarrollo vertiginoso de la tecnología, los sistemas de información y la forma como los mercados demandan hoy en día los productos, han obligado a las empresas a adaptarse a los nuevos desafíos de la sociedad; los clientes son cada día más exigentes, tienden a cumplir sus compromisos comerciales con lotes cada vez más pequeños y en menores tiempos. Ganar la fidelidad de los clientes, implica cumplir con eficacia y rapidez cada una de las entregas y la forma más eficiente de lograr esto es tener plazos de entrega cortos (Cakmakci, 2009) (Gorane, S. J. & Kant R, 2017).

El tiempo de entrega está relacionado con el tiempo de ciclo, que corresponde al tiempo que transcurre desde que el cliente inicia un pedido, el cual se transforma en requerimientos de materiales, órdenes de producción y de otras tareas, hasta que todo esto se convierte en un producto en las manos del cliente (Gutiérrez & Salazar, 2009).

La diversificación de la demanda ha exigido una rápida adaptación de los sistemas de producción, en particular para los sistemas de producción que trabajan bajo pedido en los que se requiere controlar tanto la cantidad de cambios de referencia como desarrollar actividades muy ajustadas para reducir el tiempo de preparación de sus equipos y generar eficiencia lo que redundará en la disminución de los tiempos de entrega, considerado hoy como elemento esencial en la calidad del servicio.

Según (Womack & Jones, 1996) (Treviño, 2017), se considera desperdicio cualquier actividad humana que no aporta valor, incluyendo recursos o materiales que hacen perder tiempo, cuestan dinero y no contribuyen de forma alguna a la satisfacción del cliente. Según esta definición, los tiempos de cambio de referencia son considerados actividades necesarias pero que no agregan valor, por lo que mantenerlos según lo planeado, resultará fundamental para la productividad y la competitividad de la organización.

Seis Sigma, es una metodología de mejora de procesos centrada en la reducción de la variabilidad, consiguiendo reducir o eliminar los defectos o fallos en un proceso. Entre sus principios destaca el apoyo en herramientas estadísticas y el manejo de datos que facilitan la identificación de áreas de oportunidad para la mejora (Gutiérrez & Salazar, 2009), (Orlandoni M, 2012) (Pérez L & García C, 2014) (Mast & Lokkerbol, 2012). Es una filosofía basada en una estrategia sistemática y estructurada que permite la generación de productos y servicios cada vez más eficientes, que ha sido utilizada para incrementar la calidad y la productividad de las empresas que la aplican, radicando su éxito en la mejora del rendimiento de los procesos y en el aumento de la satisfacción de los clientes (Grima & et al, 2014) (Amaya Parra & et al, 2010) (Valenzuela C & Palacios V, 2010).

El modelo de gestión Lean Manufacturing, hace parte de la cultura del mejoramiento y propone un conjunto de herramientas que ayudan en la identificación y eliminación de los desperdicios, con el propósito de mejorar el desempeño organizacional, en tiempos y costos (Azian, Rahman, Sharif, & Mashitah, 2013). Los desechos en la filosofía Lean incluyen procesamiento inadecuado, transporte innecesario, exceso de movimiento, defectos, esperas, producción excesiva e inventario. Cuando los desechos se reducen en un proceso, el costo eventualmente se eliminará porque el proceso se vuelve más eficiente (Aqlana & Al-Fandib, 2018). Plantea un conjunto de conceptos que de aplicarse correctamente, permite a los productores fabricar productos de calidad, más rápido y con mayor eficiencia (Simmons, Holt, Dennis, & Walden, 2010). Las prácticas Lean son bien conocidas y aplicadas en todo el mundo; su propósito de implementación debe ser hecho a medida porque cada empresa es única (Elizondo, Grabot, & Houe, 2016).

La ejecución combinada de las metodologías Six Sigma y Lean Manufacturing se encuentran entre las principales metodologías disponibles para que las organizaciones implementen la mejora continua exitosa y eficiente de los servicios y procesos, sin embargo las empresas han encontrado dificultades para implementar y mantener con éxito las prácticas de producción basadas en producción ajustada y six sigma, resultando importante que las empresas identifiquen y comprendan los factores críticos de éxito para implementar con éxito ambas metodologías. Una comparativa de Lean Manufacturing versus Six Sigma, permitió identificar los factores relevantes de éxito para estas dos metodologías, para las organizaciones que han implementado con éxito Six Sigma, las *habilidades y la experiencia* ocupan el primer lugar en importancia. Por el contrario, para las organizaciones que han implementado con éxito la manufactura esbelta, la *participación de los empleados y el cambio cultural* ocupan el primer lugar. (Alhurais , Robledo, & Kobi, 2017), en ambas metodologías se identifica que, en el capital humano, está la esencia para la obtención de los resultados.

Los equipos de trabajo son las unidades fundamentales de aprendizaje en las organizaciones (Senge, 1990). El aprendizaje en equipo se da por su participación activa en el proceso de toma de decisiones y es un proceso en el que el equipo adopta decisiones una vez que observa, reflexiona sobre la retroalimentación y realiza cambios para adaptarse y/o mejorar. Sin embargo, hay escasez de investigaciones en resultados obtenidos a través de equipos de mejora de procesos. (Arumugama & et al, 2012).

La simulación de eventos discretos es una herramienta valiosa para estudiar la mejora del desempeño de sistemas ya que los modelos usados se caracterizan por tomar en consideración no solo las interacciones que las diferentes entidades presentan entre sí, sino también la variabilidad e incertidumbre de los procesos, incorpora al análisis aspectos lógicos, matemáticos y estructurales de los sistemas o procesos, lo que significa que en lugar de tener que realizar experimentos en el sistema real, estos pueden hacerse en un modelo simulado (Law, 2013) (Ocampo & Pavón, 2012). Lo anterior sirve de base para el uso de la simulación en la fase de análisis y diseño de procesos o sistemas para reducir tiempos, costos y riesgos en el análisis de alternativas de solución (Pérez, 2001).

La diversidad de actividades de producción y la existencia de muchas funciones y diferentes productos, ha hecho más complejo el proceso de toma de decisiones incidiendo significativamente en la identificación de puntos de partida para implementar proyectos de mejora de procesos lo que se ha convertido en un tema controvertido. Los stakeholders y los miembros del equipo pueden tener diferentes opiniones sobre dónde comenzar, pero con una justificación diferente para las selecciones. Algunos autores han planteado que es necesaria una metodología para identificar las áreas de las mejores oportunidades de mejoras esperadas debiéndose priorizar y seleccionar proyectos de mejora y asignar recursos a los proyectos seleccionados (Aqlana & Al- Fandib, 2018). De lo anterior se deriva que el planteamiento de las soluciones se convierta en un problema multicriterio multiexperto, cuya solución requiere de la aplicación de otras metodologías.

En este trabajo se presenta un procedimiento, orientado a la reducción de tiempos de cambio de referencia, que combina las herramientas DMAIC, de la metodología Seis Sigma, Single Minute Exchange of Die por sus iniciales en inglés (SMED) de la metodología Lean manufacturing, la simulación discreta y la participación de los involucrados, a través de técnicas multicriterio, mostrando la efectividad de su aplicación en un caso real en un proceso de transformación de una compañía de artes gráficas colombiana.

2. Literatura relevante.

Algunos autores consideran que la forma más efectiva de lograr un rendimiento comercial superior se relaciona con la comprensión del proceso y su posterior mejora y que la optimización de un proceso, así como la mejora continua del mismo, depende en gran medida de la experiencia de su personal, lo que hace que sea más fácil hacer frente a cambios en el mismo (Nedeliaková, Štefancová , & Kud, 2017).

Seis Sigma es una metodología de mejora, enfocada en aspectos considerados críticos por el cliente, que busca identificar causas de errores, defectos y retrasos basándose en métodos estadísticos y soporta el proceso de decisiones en el manejo de datos (Gutiérrez & Salazar, 2009) (Pérez L & García C, 2014). Emplea un enfoque estructurado y sistemático soportado en cinco (5) fases identificadas como DMAIC (por sus siglas en inglés Define, Measure, Analyze, Improve, Control), las que proporcionan un marco adecuado para guiar el proceso de mejora, proponiendo en cada fase objetivos que van desde identificar los procesos a intervenir, evaluar los sistemas de estabilidad, capacidad y medición, identificar causas reales que afectan el proceso, identificar, priorizar, seleccionar e implementar soluciones para controlar y/o eliminar las causas identificadas e implementar un plan de control para asegurar que el problema no vuelva a ocurrir. Lo anterior puede resumirse en la tabla 1.

Tabla 1: Etapas y objetivos de la metodología Seis Sigma

Etapas	Objetivos
DEFINIR:	Definir el proyecto de mejora; identificar y validar oportunidades de mejora, definir los requerimientos críticos para el cliente y preparar el equipo de mejora. Definir los indicadores y las metas que medirán el éxito del proyecto.
MEDIR:	Identificar las mediciones que son necesarias para evaluar si se alcanzan los requerimientos críticos para el cliente. Desarrollar una metodología para la recolección de datos para medir el rendimiento efectivo del Proceso. Entender los elementos para calcular y establecer el sigma del proceso.
ANALIZAR:	Estratificar para identificar y analizar el problema específico. Identificar y validar la o las causas raíces para que el equipo pueda focalizarse en ellas.
MEJORAR:	Identificar, evaluar y seleccionar las soluciones de mejora. Proponer un enfoque para la administración del cambio que permita a la organización adaptarse e introducir la implementación de la solución.
CONTROLAR:	Establecer un plan de control identificando cómo propagar las lecciones aprendidas, para alcanzar y mantener los resultados del proyecto.

Fuente: Elaboración propia

Para lograr los objetivos de cada fase, la metodología emplea dos tipos de herramientas. Unas, de tipo general como las siete herramientas de calidad, carta de proyecto (project chart), plan de recolección de datos (data collection plan), matriz de asignación de responsabilidades (raci), análisis de interesados (stakeholders analysis), matriz de proveedores-entradas-procesos-salidas clientes (sipoc), mapa de la cadena de valor (value stream mapping) que se emplean para la recogida y tratamiento de datos y otras, específicas de estos proyectos, como herramientas estadísticas, entre las que resaltan los estudios de capacidad del proceso, análisis Anova, contraste de hipótesis, diseño de experimentos, simulación de procesos y también algunas utilizadas en el diseño de productos o servicios, como el QFD y AMFE (Pérez L & García C, 2014).

En la fase de definición se identifican los posibles proyectos Seis Sigma y se selecciona el equipo de trabajo más adecuado.

La fase de medición permite la caracterización del proceso identificando los requisitos clave de los clientes. A partir de esta caracterización, se define el sistema de medida y se mide la capacidad del proceso Cp (Erdogan & Canatan, 2015). Sin embargo según (Cakmakci, 2009) el índice Cp está diseñado para medir el grado de la variación global del proceso y no depende de la media del proceso, por ello se introduce entonces el índice Cpk, para reflejar el impacto de la capacidad del proceso e identificar qué tan cerca se encuentra el proceso dentro de los límites de especificación.

En la fase Analizar, el uso de herramientas estadísticas, clásicas y propias de DMAIC, el trabajo en grupo y los métodos expertos, que permiten el involucramiento de los empleados, genera eficiencia en la determinación de las causas y sus posibles soluciones.

La fase Mejorar, permite a los investigadores la propuesta de soluciones que se enfoquen en la eliminación de las causas detectadas pudiendo emplear para ello herramientas de Lean Manufacturing.

En la fase controlar se diseñan y documentan los controles necesarios para asegurar que lo conseguido mediante el proyecto Seis Sigma se mantenga una vez que se hayan implantado los cambios.

La limitación más importante identificada en la metodología Six Sigma está centrada en el diagnóstico eficiente de problemas y el soporte metodológico para la identificación de posibles causas problemáticas, sin aportar una guía estratégica para asegurar la eficiencia de la búsqueda de diagnóstico (Mast & Lokkerbol, 2012).

El pensamiento Lean surgió con el desarrollo del sistema de producción Toyota, por Taiichi Ohno y asociados, estructurado para ayudar a la supervivencia de la empresa Toyota en un escenario de capital y limitaciones de recursos durante la recuperación de la posguerra (Kurdve, 2014). Actualmente se define como “una filosofía/sistema de gestión sobre cómo operar un negocio de trabajo, basada en las personas, que define la forma de mejorar y optimizar un sistema de producción enfocando en identificar y eliminar todo tipo de “desperdicios”, definidos éstos como aquellos procesos o actividades que usan más recursos de los estrictamente necesarios. Identifica varios tipos de “desperdicios” que se observan en la producción: sobreproducción, tiempos de espera, transportación, exceso de procesado, inventario, movimientos y unidades defectuosas (Treviño, 2017).

Muchas empresas manufactureras han implementado esta filosofía adaptándolas a sus necesidades, su amplia utilización se debe a que es una herramienta muy versátil que se adapta a una amplia gama de entornos de trabajo, lo que se aprecia en (Das, Venkatadri, &

Pandey, 2014), (Pattanai & Sharma, 2009), (Horbal, Kagan, & Koch, 2008), (Muslimen, Mohd, & Z., 2011), (Sutari, 2015).

El Takt Time (TT), en lean se refiere al ritmo en que los productos deben ser finalizados para satisfacer la demanda del cliente, por lo que se emplea para sincronizar el ritmo de la organización con la demanda del cliente y se calcula mediante la ecuación;

$$Takt\ Time = \frac{Tiempo\ disponible\ (por\ turno,\ mes\ o\ día)}{Unidades\ demandadas\ por\ los\ clientes\ (por\ turno,\ mes\ o\ día)}$$

Considerando el tiempo de ciclo (TC) como aquel donde se aporta valor al producto o servicio, idealmente, el tiempo de ciclo debería ser igual al tiempo takt, lo que significa que TC/ TT debe estar cerca de uno. Si los valores TC/ TT son mayores que uno, significa que el tiempo del ciclo es alto. Esto resulta en no poder cumplir demanda del cliente Por otro lado, los valores de TC / TT inferiores a uno indican pequeños tiempos de ciclo que conducen a un exceso de desperdicio de producción (Aqlana & Al-Fandib, 2018). En empresas que trabajan bajo pedido y emplean sistema pull, el tiempo de cambios de referencias es un factor que incide directamente en el tiempo del ciclo, por lo que mejorar el tiempo del alistamiento de las máquinas incidirá directamente en el nivel de servicio.

En el modelo conceptual propuesto por Rivera, se reconocen 5 etapas que parten desde ver el proceso, hasta conectar la oferta con la demanda (Rivera, 2008). Dentro de las herramientas para diseñar e implementar mejores procesos internos desataca el Single Minute Exchange of Die, por sus siglas en inglés SMED, que se enfoca en la reducción de tiempos de cambio, considerándose este como el tiempo que transcurre desde que sale la última pieza buena del “pedido anterior” hasta que sale la primera pieza buena del “pedido siguiente”. Es una herramienta eficaz, que responde rápidamente a la reducción de tiempos de alistamiento y cambios de referencia de una máquina, creando las condiciones necesarias para la reducción de plazos de fabricación lo que ha sido fundamental en la reducción de tiempos de ciclo (tack time) y las iniciativas para la reducción de dichos tiempos, se han asociado con el método (Shingo S. , 1985).

Diversos trabajos muestran la aplicación de las metodologías Lean y Seis Sigma ya sea por separado o combinadas para mejorar el desempeño de procesos (Mantilla & Sánchez, 2012), (Filardia, Bertib, & Morenoc, 2015), (Indrawati & Ridwansyah, 2015), (Choomlucksana, Ongsaranakorn, & Suksabai, 2015), (Valenzuela C & Palacios V, 2010), no existiendo una forma única de aplicar estas herramientas (Muslimen, Mohd, & Z., 2011).

En opinión de los autores, el enfoque inicial de Smed, orientado a la reducción del tiempo de parada de las máquinas y a la coordinación de las actividades desarrolladas por los operarios, puede ser mejorado con la integración de otros aspectos relacionados con actividades que consumen tiempos como los esfuerzos por los cuadros de máquinas, las competencias de los operarios, aspectos que se consideran en la propuesta ya que *“para que un Sistema de fabricación lean sea exitoso es preciso que forme parte de la cultura corporativa, para garantizar el uso del enfoque y sus herramientas y ello no es posible sin la inclusión de los miembros en el proceso de transformación”*.

El aprendizaje deliberado se refiere al aprendizaje resultante de actividades deliberadas para crear, adquirir y transferir conocimientos según plantean (Zollo y Winter, 2002) citados en (Arumugama & et al, 2012), en oposición al aprendizaje experiencial es el que se produce como resultado de la acumulación de experiencia de los empleados a través de la repetición de tareas.

Desde el punto de vista del aprendizaje organizacional, la metodología DMAIC, es un mecanismo que fomenta el aprendizaje entre los miembros de manera eficiente. El aprendizaje y el conocimiento creados pueden ser transferidos a otras áreas donde la organización tiene procesos similares (Hoerl, 2001). Por lo tanto, el despliegue de Six Sigma proporciona un ambiente positivo y propicio en el que el aprendizaje deliberado es inducido en los equipos de mejora que mejora las formas de uso de los conocimientos de los miembros (Arumugama & et al, 2012), (Wiklund & Wiklund, 2002) (Pande, Neuman, & Cavanagh, 2000), (Linderman, Schroeder, & Sanders, 2010).

Los proyectos de mejora pueden ser probados previo a su implementación, mediante la construcción de modelos de simulación de eventos discreto, para medir sus impactos, lo que reduce tiempos, riesgos y costos (Law, 2013). La simulación, es una técnica experimental que permite la creación de escenarios para evaluar el comportamiento de sistemas, a partir de la modelación de los mismos, representando los procesos e introduciendo cambios deliberados en las variables. Algunos autores la recomiendan ya que permite observar el comportamiento del proceso actual y mejorado con el fin de reducir riesgos, costos y tiempos.

Mediante una estructura adecuada el estudio puede modelarse a través de la simulación lo que permite conducir al usuario hacia la mejor solución posible al problema bajo estudio, (Sturrock, 2009). En la literatura se encuentran trabajos que proponen metodologías que combinan la simulación con la metodología DMAIC y aplicaciones de la misma a problemas reales (Ocampo & Pavón, 2012) (Ocampo J., 2012) (Garza, González, et al, 2016), (Polendo, Parroquín, Noriega, & Romero, 2016)

La propuesta de proyectos y acciones de mejora deben tomar en cuenta dimensiones como; factibilidad, impacto en los clientes, impacto en las finanzas, impacto en las operaciones e impacto en los empleados y su alienación con la estrategia del empresa (Wang, Hsu , & Gwo-Hsiung , 2014), considerando lo anterior, la complejidad del proceso de toma de decisiones en las condiciones actuales y el carácter multicriterial de las mismas, se han desarrollado investigaciones para priorización que fundamentalmente proponen el uso del método de jerarquías analíticas (AHP) (Saaty T., 1980), entre ellos los propuestos por (Rimantho, Abdul, Cahyadi, & Herrnawati, 2017) (Mast & Lokkerbol, 2012), (Kwun Wang , Hsoun Hsu , & Hsiung , 2014), (Perçin & Kahraman, 2010).

Sin embargo los autores consideran que en adición a la complejidad del propio proceso de toma de decisiones, para la aplicación del método AHP, se requiere experticia al incluir la comparación pareada que soporta el método, creciendo más aún la complejidad en ambientes multiexperto, sobre todo cuando alguna matriz tiene juicios inconsistentes. Por lo anterior, los autores proponen el uso del método Press II (Aragonés P., 1997). Este método presenta algunas ventajas sobre otros métodos de decisión multicriterio como son:

- Favorece la participación en la decisión final.
- Soporta el proceso de decisión con un mayor grado de confianza y apoyo.
- Permite un análisis del problema tomando en cuenta factores que pudieran de otra forma escapar al decidor. (Garza, González, & Pérez, 2012)

Para conseguir el resultado, se estructura en siete pasos:

1. Definición del grado de importancia de cada uno de los criterios de decisión.
2. Obtención de las matrices de evaluación de las alternativas comparando alternativas contra criterios.
3. Obtención de la matriz global para el consenso de los expertos aplicando la media

- aritmética
4. Normalización de la matriz.
 5. Ponderación de la matriz.
 6. Cálculo de la matriz de dominación.
 7. Cálculo del Índice PRES que representa la preferencia global de cada alternativa.

Un índice Press próximo a 1 indicará que el nivel de dominación de la alternativa i es similar al nivel en el cual esta alternativa es dominada. Un índice mayor que 1 indicará que la alternativa es claramente dominante. Un índice igual a dos indicará que la alternativa es doblemente dominante y así sucesivamente. (González, Garza, & Pérez, 2008). El mismo permite la comparación entre alternativas, ordenándolas y obteniendo como resultado la mejor de ellas a través del índice PRESS. Este método es muy recomendado debido a su facilidad de aplicación.

El Índice PRES, representa la preferencia global de cada alternativa y se calcula por la expresión:

$$I = \frac{D_i}{d_j}$$

donde:

I : índice PRES.

D_i : es la suma de elementos de la fila i e indica hasta qué punto la alternativa i domina a las demás.

d_j : es la suma de elementos de la columna j e indica hasta qué punto la alternativa j es dominada.

Se calculan tantos índices como alternativas haya y las alternativas se ordenan de mayor a menor preferencia en base al índice; es decir, se escoge la alternativa que mayor índice tenga.

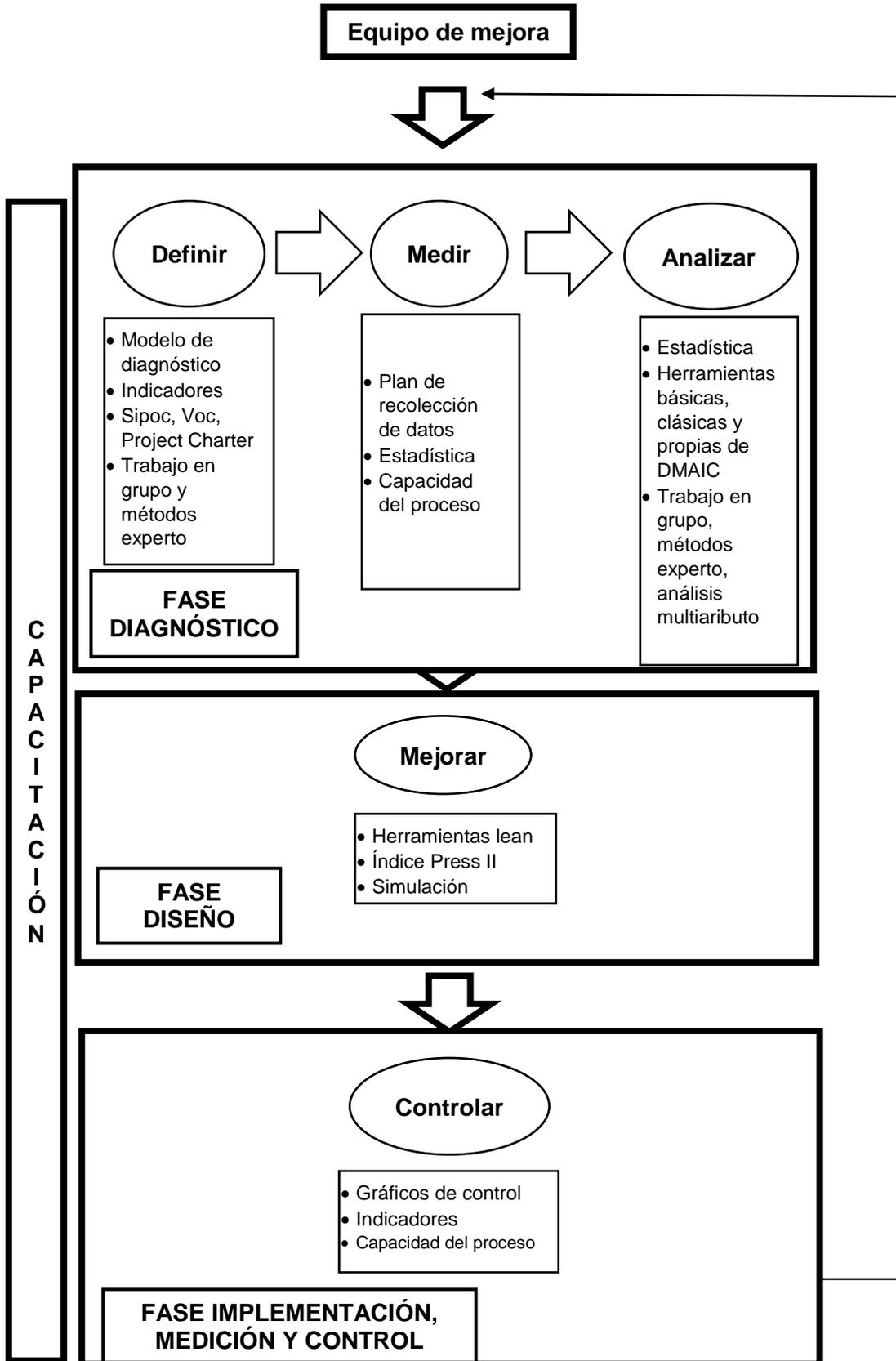
3. Metodología propuesta

Considerando las limitaciones encontradas en la revisión de la bibliografía entre las que destacan las enunciadas por (Mast & Lokkerbol, 2012) y considerando que no existe una única forma de aplicar estas herramientas (Muslimen, Mohd, & Z., 2011), se diseñó un modelo y se desarrolló un procedimiento estructurado que se caracteriza por:

- Estructurar el problema en las fases de análisis, diseño e implementación.
- Combina herramientas propias de las metodologías DMAIC, Lean, simulación discreta y técnicas para priorización en el análisis de causas y propuestas de alternativas de mejora.
- Incluye el trabajo en equipos como elemento vital para el mantenimiento de los resultados.

El modelo propuesto se presenta en la figura 1.

Figura 1: Modelo basado en las metodologías Lean, Seis Sigma y herramientas cuantitativas.



Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento, diseñado con enfoque de mejora continua, toma en cuenta las dimensiones propuestas por (Wang, Hsu , & Gwo-Hsiung , 2014), se apoya en el empleo combinado de herramientas de la metodología DMAIC, con otras herramientas incluidas el SMED de la metodología Lean, el trabajo en equipo, la participación activa de los empleados en el proceso de identificación de causas y propuestas de mejora y para su cuantificación se propone la simulación de sistemas discretos.

En la etapa diagnóstico, se propone la inclusión de las fases Definir, Medir y Analizar de la metodología Seis Sigma con el objetivo de identificar el estado inicial del proceso e indagar hasta encontrar las causas raíces, para dar estructura y soporte al proceso se incluye el uso de herramientas propias de dicha metodología, así como con otras herramientas de recogida de información para su posterior procesamiento y análisis tales como el modelo de diagnóstico propuesto por (Garza, González, Pérez, & al, 2012)

En la etapa de Diseño, se proponen acciones de mejora basadas en herramientas Lean (Rivera, 2008), se priorizan mediante el empleo del índice Press II (Aragón P., 1997) y se validan mediante el uso de la simulación discreta (Law, 2013) (Pérez, 2001). La etapa implementación, medición y control, tiene como objetivo poner en marcha las propuestas de solución, medir su impacto mediante variables e indicadores de control que permitirán el establecimiento de nuevas metas lo que garantizará la mejora continua, haciéndolo parte de la cultura organizacional.

4. Aplicación del procedimiento a un caso real

La empresa objeto de estudio pertenece al sector de las artes gráficas del Valle del Cauca en Colombia, desarrolla procesos de diseño y producción para lo cual cuenta con los procesos de conversión, impresión, troquelado, pegado y acabado.

Del análisis de datos de un periodo base, se identificaron los bloques de pérdidas que afectaban el tiempo de ciclo y la productividad, reflejándose elevados % de tiempos perdidos por disímiles factores, destacando los tiempos de alistamiento como el bloque principal de pérdidas.

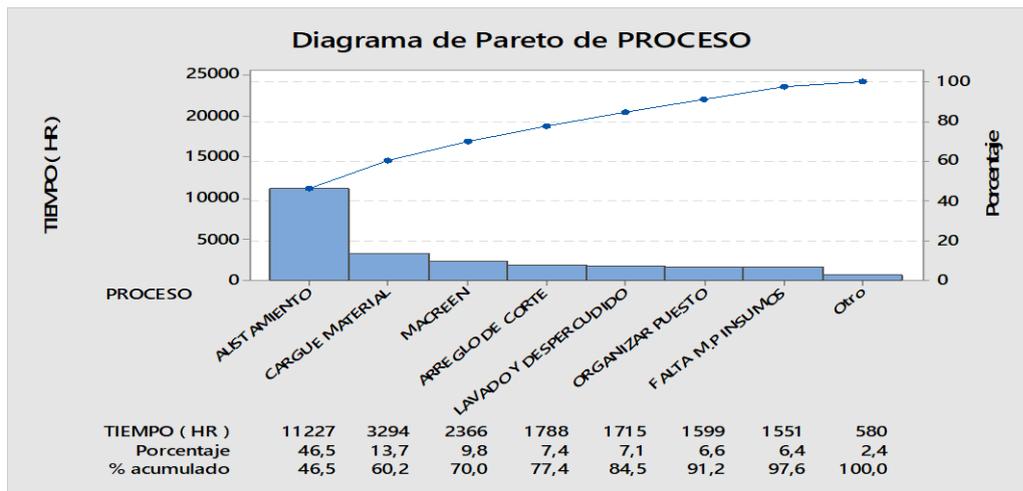
Para estudiar y proponer soluciones a este problema se diseñó y aplicó el procedimiento que se propone en este trabajo, procesándose la información recopilada mediante el software Minitab 17 y el software Flexim 16. Los análisis de cada uno de estos resultados, corresponden al grupo de investigadores que desarrollaron este trabajo.

4.1 Etapa diagnóstico

Para iniciar, se conformó equipo de mejora multidisciplinario que lideró todo el proceso, en el que participaron además de los investigadores, la gerencia de logística y producción, el jefe del proceso identificado y los operarios del proceso.

Se tomó como base la información de tiempos improductivos de la planta de producción de un año considerado como año base. En la gráfica 1, se muestra el comportamiento de tiempos no productivos, resaltando el alistamiento como la actividad de mayor incidencia con una participación del 46.5%.

Gráfica 1. Diagrama Pareto de Tiempos improductivos por actividades en la empresa año base



Fuente: Los autores a partir de (Toro & Mosquera, 2015)

Para identificar oportunidades de mejora se procesaron los tiempos de alistamientos por procesos, resultando los procesos de impresión, troquelado y pegue los de mayor participación. La gerencia de producción decidió desarrollar el proyecto en el área de pegue, área encargada de la entrega del producto final al cliente.

Descripción del proceso de pegue

El proceso recibe plegadizas ya despicadas que deben ser pegadas por medio de las máquinas pegadoras. Estas pre-doblan, pegan y prensan las plegadizas a altas velocidades. Cuenta con 3 máquinas (Pegadora Chens, Pegadora RC 15 y Pegadora Ricall 70 “RC 70”) que realizan tres tipos de pegues, lateral, dispensadora y automático.

4.1.1 Definir

Para precisar el alcance del proyecto, se procesó la información de los tiempos de alistamientos por máquina para el año base y mediante un trabajo en grupo focal se definió como criterio de selección el costo/hora de la máquina, siendo la pegadora “RC 70” la máquina seleccionada.

La máquina realiza tres tipos de pegue, el pegue lateral, el pegue automático y el pegue tipo dispensadora, diferenciándose el tiempo de alistamiento por tipo de pegue. En la tabla 3 se muestra el indicador, su forma de cálculo, la meta y el desempeño de los mismos para el periodo estudiado, identificándose que las metas de los tiempos de cambio para los tres tipos de pegue fueron incumplidas resaltando el pegue tipo dispensadora el de peor desempeño.

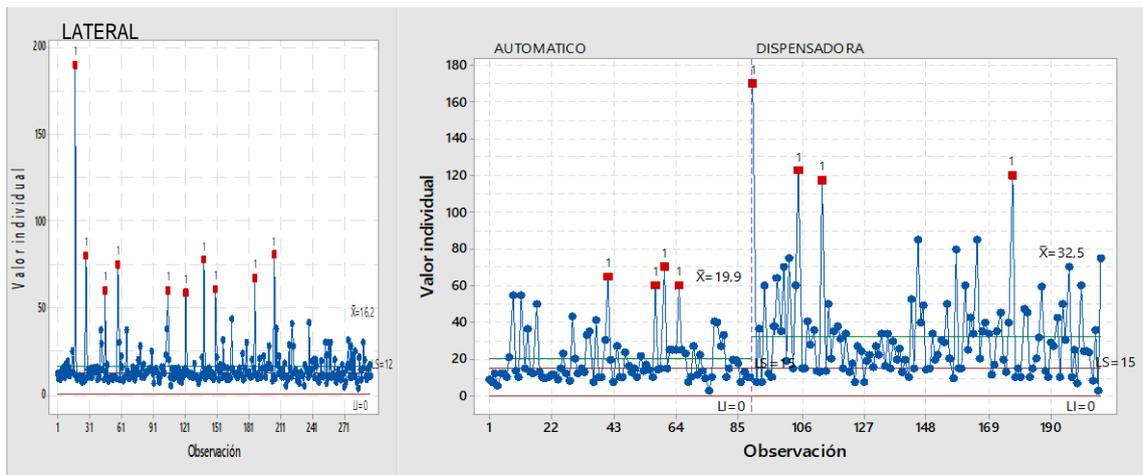
Tabla 3: Indicador, metas y su cumplimiento en el proceso de pegue

Nombre del indicador	Expresión de cálculo	Meta Lateral I (min/cambio)	Promedio anual (min/cambio) Meta automático (min/cambio)	Promedio anual (min/cambio) Meta dispensadora (min/cambio)	Promedio anual (min/cambio) Frecuencia
Tiempo de alistamiento /cambio	Tiempo de alistamiento /número de cambios realizados	≤ 15	19.9 2	16.1 9	32.5 4 mensual

Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 2 se muestra el comportamiento de la variable tiempo de alistamiento por cambio para los tres tipos de pegue. Los datos no mostraron un comportamiento normal, por lo que se realizó su normalización mediante la prueba Box Cox. En el caso del pegue Lateral, el tiempo de cambio promedió 16.2 minutos en el año, observándose gran variabilidad en su comportamiento con datos atípicos que van entre 25,2 y 189,6 minutos. Este comportamiento hace deducir que causas asignables de variación, están haciendo presencia en el proceso, razón por la cual los datos se presentan con un perfil irregular. El comportamiento de los datos del tiempo de cambio para el pegue automático y el dispensadora en promedio reportan un valor de 19.9 y 32.5 minutos respectivamente. Específicamente el pegue automático presentó valores atípicos en un rango entre 49,8 y 70,2 minutos y para el pegue de dispensadora un rango entre 79,8 y 169,8 minutos, resultados que no cumplen la meta establecida para ninguno de los dos tipos de pegue.

Gráfica 2. Gráfica I-MR Tiempos de cambio Pegue Lateral



Fuente: Los autores

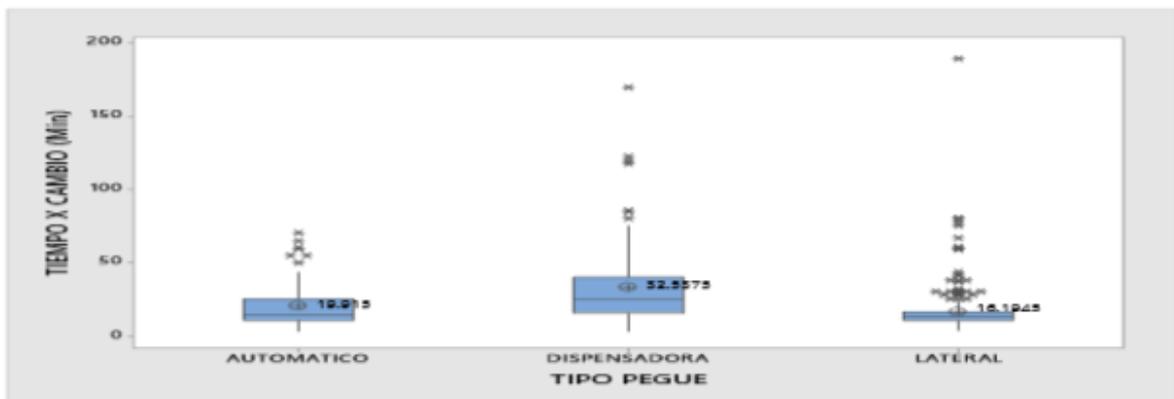
Esta situación le generó a la empresa un costo de \$ 47.601.345.79 pesos en el año, lo que permitió al equipo definir como objetivo y meta del proyecto “reducir los tiempos de

alastamiento y mantener una meta cuyo tope fuera el 9 % del tiempo programado para producción”.

4.1.2 Medir

Para iniciar esta fase, fue necesario identificar las variables de entrada y de salida que se debían controlar y a través de las cuales se mediría la mejora del proceso. Se recopiló información de tiempos de cambio durante el primer trimestre del año. En todos los casos, los datos presentaron altos niveles de variabilidad y luego de hacer la prueba de normalidad, se evidenció falta de ajuste a la distribución normal. En el diagrama Box Plot que se muestra en la gráfica 3, se resumen los datos recopilados de los tiempos de cambio de los tres tipos de pegue identificándose pequeñas disminuciones a lo observado en los datos del año base, en especial en pegue lateral y automático, aunque se mantiene el incumplimiento de los tiempos meta, permanece la presencia de causas asignables o especiales de variación en el proceso (puntos atípicos).

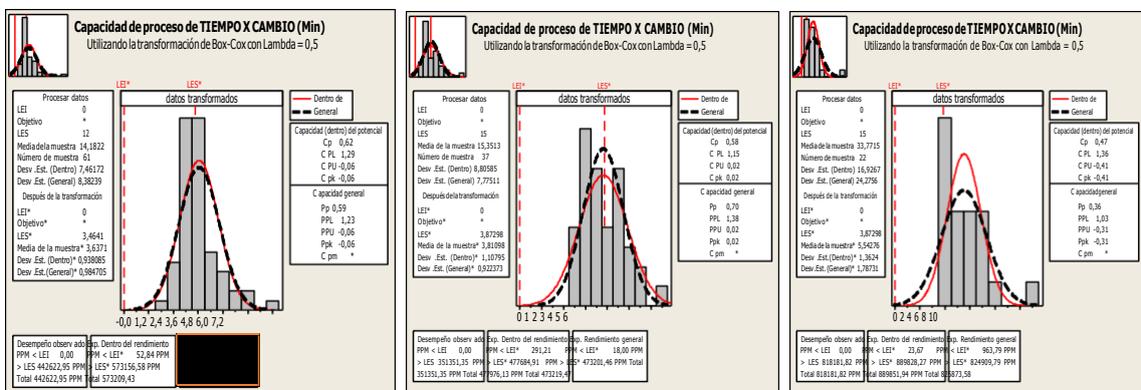
Gráfica 3. Diagrama de caja de tiempos promedios de cambios de referencia, según tipos de pegue



Fuente: Elaboración propia.

Se realizó el análisis de la capacidad de proceso, calculando los indicadores de capacidad (Cp, Cpk, Sigma y Dpm) para identificar si el proceso era capaz de responder o cumplir con las metas establecidas, este análisis se realizó para cada tipo de pegue, y los gráficos de capacidad obtenidos, se muestran en la gráfica 4.

Gráfica 4. Capacidad del proceso de pegue Lateral, Automático y Dispensadora



Fuente: Elaboración propia.

Un consolidado de la información obtenida se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Consolidado de la información de la etapa Medir para los tres tipos de pegue

Indicador	Pegue Lateral	Pegue Autom.	Pegue Dispen.
Tiempo promedio de cambio (min/alist)	14,18	15,35	33,7
% tiempo de Alistamiento	14 %	12,3 %	25 %
Capacidad del proceso (Cp)	0.62	0.58	0.47
Capacidad del proceso (Cpk)	- 0.06	0.02	- 0.41
Sigma del Proceso	1,12	1,39	0,41
DPMO	569.839,42	473.219,47	825.873,58
Cantidad Horas de alistamiento	58,78	33,68	27,66

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados anteriores mostraron que el proceso no está cumpliendo con las especificaciones del tiempo de cambio y justificaron la idea de que la implementación de mejoras fortalecería el proceso para su aproximación al cumplimiento de la meta establecida.

4.1.3 Analizar

En esta etapa el objetivo fue identificar las relaciones causa efecto. Considerando que el alistamiento de las máquinas es una actividad que no agrega valor pero es necesaria y afecta el tiempo de ciclo, se inició con la identificación de todas las actividades que se incluyen en un cambio de referencia para identificar brechas para la mejora.

El proceso no estaba documentado por lo que para hacer eficiente la identificación de las causas, el equipo investigador inicialmente realizó una observación directa para comprender el proceso de cambio de lote y estudiar el efecto en el tiempo de cambio que podría tener la separación posterior de las operaciones en internas y externas. Se identificaron 20 actividades en un cambio de referencia todas las cuales se realizaban de manera interna y de ellas se seleccionaron 6 actividades que se podrían realizar de forma externa, siendo potenciales para reducir el tiempo de cambio. Asimismo, se evidenciaron problemas de falta de organización en el puesto y en el trabajo en general sin tener conocimiento cada operario de las actividades a desarrollar.

Considerando que el conocimiento y la experiencia lo tienen los trabajadores directos, se convocó a los colaboradores de las máquinas y a los directivos a una lluvia de ideas con el objetivo de conocer de manera más cercana las falencias que ellos identificaban en el proceso. Esta participación fue decisiva en la eficiencia de esta fase que a su vez formó parte de las bases para el levantamiento de necesidades de capacitación. En la tormenta de ideas, participaron 5 expertos, los que identificaron 20 causas que mediante un análisis de afinidad se lograron reducir a 8 causas probables.

Las causas identificadas fueron agrupadas, según el método de las 6 M'S, mostrándose en la tabla 5 las causas de mayor impacto, agrupadas en 5 M'S.

Para obtener un ordenamiento de las causas identificadas, los expertos realizaron una valoración mediante una escala, 1: No impacta. 3: Impacto Mínimo. 5: Impacto Mediano. 7: Impacto Significativo. 10: Impacto Total. Las causas de mayor ranking, fueron sometidas a

un análisis mediante la técnica de 5 por qué.

Tabla 5: Causas probables que afectan el tiempo de alistamiento

N r o	M	Causas
1	Método	Inadecuado método de calibración
2		Método inadecuado de alistamiento de las máquinas
3		Distribución de tareas entre operarios
4	Mano de Obra	Problemas de capacitación
5	Medio Ambiente	Problemas con la limpieza y el mantenimiento de las máquinas
6	Medición	Inexistencia de sistema de medición
7	Materiales	Desplazamientos innecesarios durante el cambio
8		Mala distribución y uso de insumos

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Etapa diseño

Una vez se identificaron las causas de mayor impacto en el problema, se consideró que las propuestas de alternativas de solución fueran integrales para dar respuesta a la mayor cantidad de causas.

4.2.1 Mejorar

En esta fase, se convocó a los colaboradores, a una nueva tormenta de ideas en este caso con el objetivo de generar soluciones, se identificaron 13 ideas que fueron priorizadas a través de una matriz de impacto/esfuerzo, resultando 6 acciones potenciales relacionadas con las causas identificadas. Las soluciones propuestas se muestran en la tabla 6.

Tabla 6: Relación de causas y soluciones

SOLUCIONES ANALIZADAS	CAUSAS	DESCRIPCION DE LA PROPUESTA
1	2	Implementar herramienta SMED
2	2 y 3	Implementar el flujograma del proceso de a
3	2 y 3	Diseñar e implementar manual de funciones, responsabilidades y competencias para el personal de la pegadora RC-70

4	4	Diseñar e implementar un plan de capacitaciones para los operarios y auxiliares
5	5, 7 y 8	Aplicación de 5's en la línea de pegue.
6	1 y 6	Determinar e implementar un sistema de medición para la graduación de las estaciones del área de pegue

Fuente: Elaboración propia.

Para priorizar las soluciones, se tomaron como referencia las dimensiones propuestas por (Wang, Hsu , & Gwo-Hshiang , 2014) y se definieron como dimensiones priorizadas la alineación estratégica, visto a través de los factores críticos de la calidad y el impacto de las operaciones medido a través de la reducción del tiempo de ciclo, de esta forma se incluyeron como variables de análisis las dimensiones y criterios que se muestran en la tabla 7 en la que se incluye la importancia global obtenida de la votación de cada miembro del grupo procesada mediante la mediana.

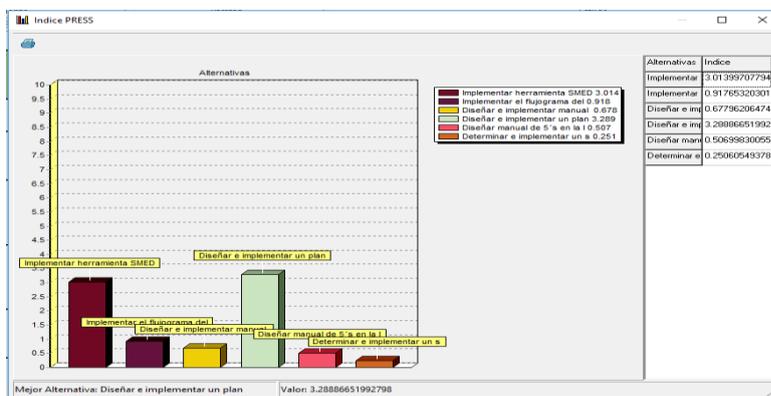
Tabla 7: Criterios para la prioridad e importancia global

Dimensiones	Criterios	Importancia
Factibilidad	Facilidad en la implementación	7
Impacto en los empleados	Rapidez en la obtención de resultados	10
Impacto en las finanzas	Costo de la alternativa	7
Impacto en la respuesta al cliente	Satisfacción de los clientes	10

Fuente: Elaboración propia.

Para seleccionar cuál de las propuestas de solución debería ser implementada, los autores proponen el uso del índice PRES, método recomendado por su facilidad de aplicación. Los resultados obtenidos utilizando la importancia dada por el grupo de investigación se muestran en la figura 2.

Figura 2: Resultados del ordenamiento de las soluciones



Fuente: Elaboración propia.

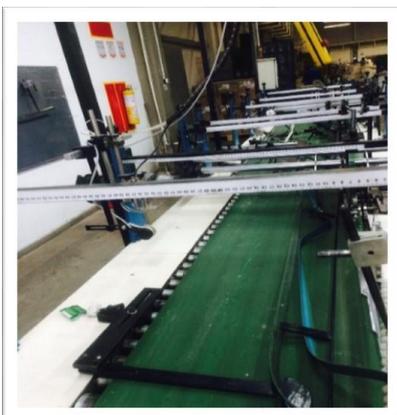
Considerando que las alternativas 4 y 1 obtuvieron índices muy cercanos, se valoró hacer un nuevo análisis y hacer una nueva propuesta de soluciones agrupando las acciones de la siguiente forma:

1. Diseño del plan de capacitación.
2. Procedimiento estándar para los cambios de referencia según el tipo de pegue que incluyó:
 - Diseño del proceso de cambio de referencia mediante la metodología SMED, incluyendo la aplicación de 5's en la línea de pegue y el diseño del sistema de medición para la graduación de las estaciones del área de pegue.
 - Diseño del flujograma del proceso estándar de alistamiento.
 - Diseño del manual de funciones, responsabilidades y competencias para el personal.

Para el diseño de cada una de las acciones propuestas se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

1. El plan de capacitación se soportó sobre los temas:
 - Roles del personal.
 - Flujo del proceso de Alistamiento
 - Sistema de medición para el ajuste de estaciones.
 - Programa 5's.
2. Para el diseño del Procedimiento estándar para los cambios de referencia, se propuso una nueva organización del trabajo de los operarios, del puesto de trabajo, así como la inclusión de un sistema de medición para el cuadro de las máquinas.
 - Para el diseño de la nueva organización del trabajo de los operarios, se aplicaron las fases de SMED.
 - Para el diseño del puesto de trabajo, se propuso la aplicación de 5's en la línea de pegue, a través de un plan de acción que incluyó todas las fases desde clasificar hasta la definición de cómo mantener la disciplina.
 - Para el diseño del sistema de medición para el cuadro de las máquinas, se propuso la inclusión en las máquinas de una guía milimetrada, que contribuyó también en la reducción de los tiempos al mejorar el método de trabajo. El diseño incluyó la colocación de las mismas en las máquinas para facilitar el cuadro de la máquina. El diseño se muestra en la imagen 1.
 - Con las propuestas anteriores se hizo el rediseño del proceso.

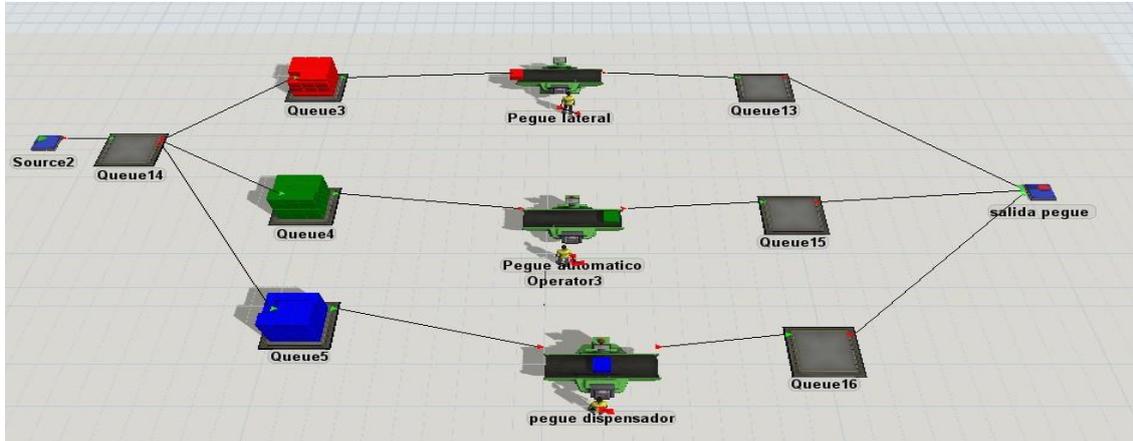
Imagen 1: Sistema de medición para graduación de estaciones.



Fuente: (Toro & Mosquera, 2015)

Para probar el desempeño del proceso previo a la implementación, se hizo una prueba piloto para medir el impacto del Procedimiento estándar para los cambios de referencia según el tipo de pegue, lo que permitió hacer una estimación de la reducción de las actividades y su impacto en los tiempos. Los datos recopilados fueron empleados para la ejecución de un modelo de simulación en Flexim 16, que se muestra en la imagen 2.

Imagen 2: Modelo de simulación en Flexim 16



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos de la corrida del modelo de simulación se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados de la simulación del sistema actual

Tipo de pegue	Tiempo de alistamiento promedio (Min)	Unidades producidas/hora
Lateral	13	23654
Automático	13.5	11866
Dispensadora	19.8	5646.12

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Fase implementación, medición y control

Los resultados de la implementación individual del SMED produjeron una reducción importante en los tiempos de cambio lo que representó un % de reducción de 27 , 67 y 36 para los pegues automático, dispensadora y lateral respectivamente, como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9: Resultados de la aplicación de SMED

	Pegue Automático	Pegue de Dispensadora	Pegue Lateral
Meta (Min) ≤	15	15	12
Antes (Min)	15,35	33,77	14,18
Simulación (Min)	13.5	19.8	13

Después (Min)	12,8	13,2	9,4
Reducción (Min)	2,55	20,6	4,8
% Reducción del tiempo	27 %	67 %	36 %

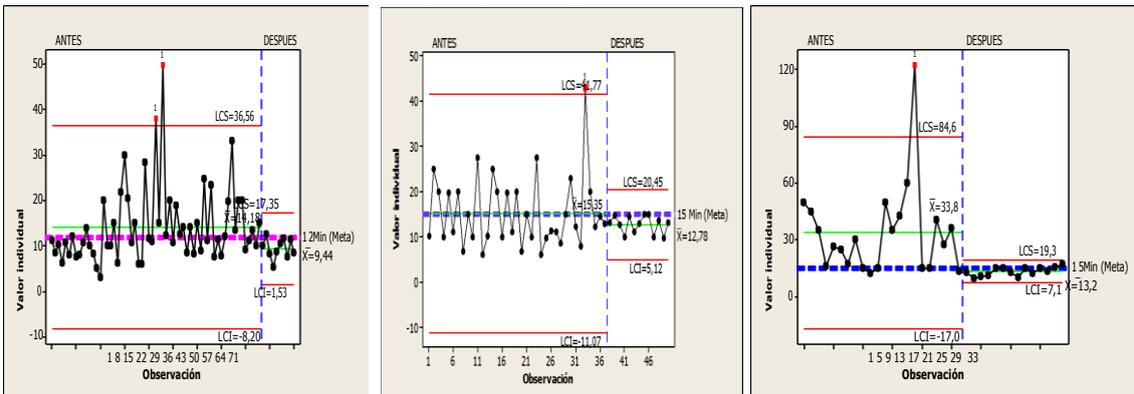
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1 Controlar

La nueva data, producto de las acciones implementadas en el proceso fue verificada continuamente, como principio del mejoramiento, lo que generó un cambio de actitud de todos los involucrados, en términos de un estricto seguimiento sobre los resultados. La revisión diaria de los indicadores claves del proceso por parte de los interesados (personal operativo y administrativo de producción) permitió mantener el control y tomar acciones de manera oportuna para beneficio del proceso y del proyecto. Se incluyeron nuevos procedimientos de control en el sistema de gestión de la empresa que permitieron su sistematización, tanto por el personal antiguo como el nuevo que se vincula a los procesos.

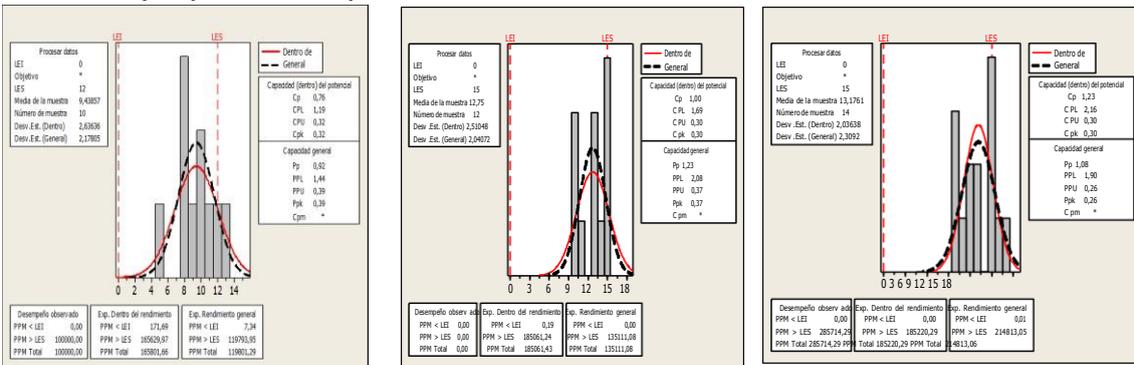
Para mostrar el impacto de las mejoras, se hizo una comparación entre las etapas antes y después en cada tipo de pegue, lo que se muestra en la gráfica 5, para pegue lateral y automático y dispensadora, respectivamente.

Gráfica 5: Gráfico de Control de antes y después Pegue Lateral, Automático y Dispensadora.



Fuente. Los autores

Gráfica 6: Análisis de Capacidad del proceso posterior a la implementación Pegue Lateral, Automático y dispensadora respectivamente.

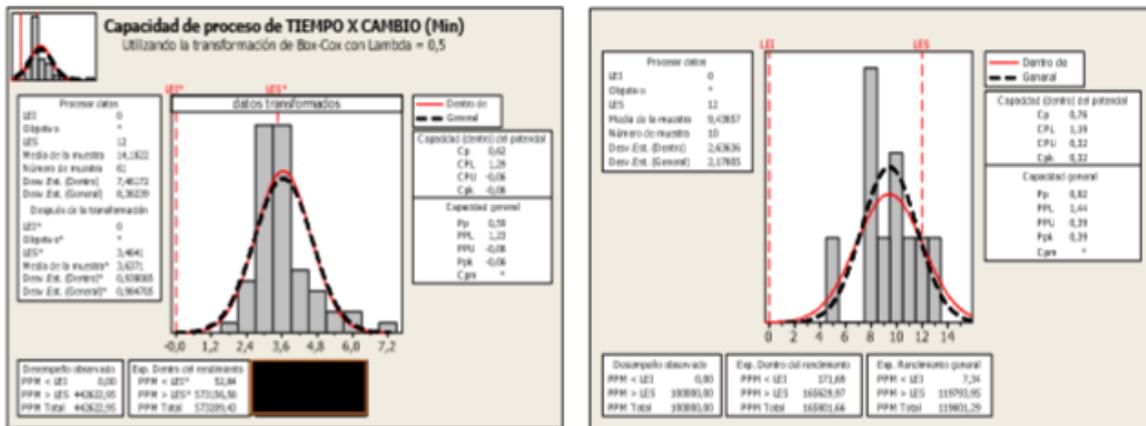


Fuente: Los autores adaptado de (Toro & Mosquera, 2015)

En todos los casos se observan reducciones importantes de la media del proceso, las que fueron verificadas con las pruebas de hipótesis correspondientes. Se hizo el análisis de la capacidad del proceso por tipo de pegue después de la implementación de soluciones, lo que se muestra en la gráfica 6.

Asimismo, se realizó una comparación de la capacidad del proceso por tipo de pegue, antes y después de la implementación, evidenciándose mejoras en los valores de CP para todos los casos. En la gráfica 7 se muestra el comportamiento de la capacidad del proceso antes y después de la intervención para el caso del pegue lateral.

Gráfica 7: Análisis de la capacidad del proceso de pegue lateral antes y después de la intervención

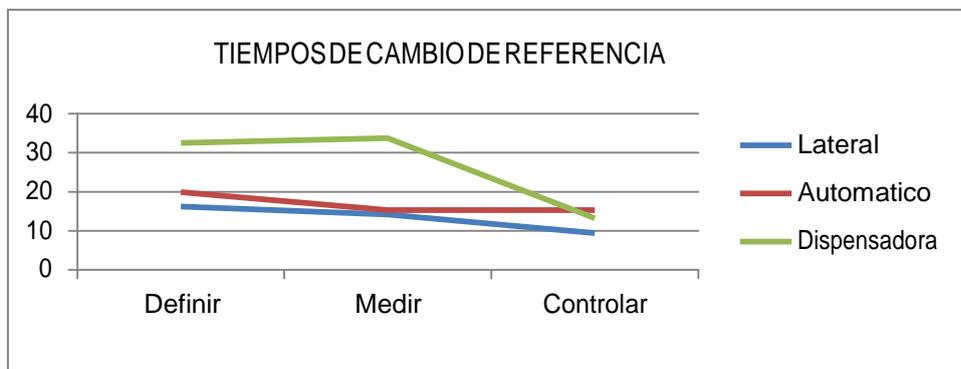


Fuente: Los autores adaptado de (Toro & Mosquera, 2015)

La implementación de las propuestas vinculadas con la estandarización del método de trabajo de las actividades de cambio de referencia y la inclusión para ello de herramientas de la metodología Lean Manufacturing, entre las que destacaron 5'S y SMED, fueron de un alto impacto en la reducción de los tiempos de alistamiento en las máquinas pegadoras, lo que además de constatarse en la prueba piloto se pudo cuantificar a través de modelos de simulación.

El impacto de las mejoras durante el periodo piloto, evidenciaron una tendencia hacia el cumplimiento de la meta del indicador tiempo por cambio de 12 minutos, como se muestra en la gráfica 8.

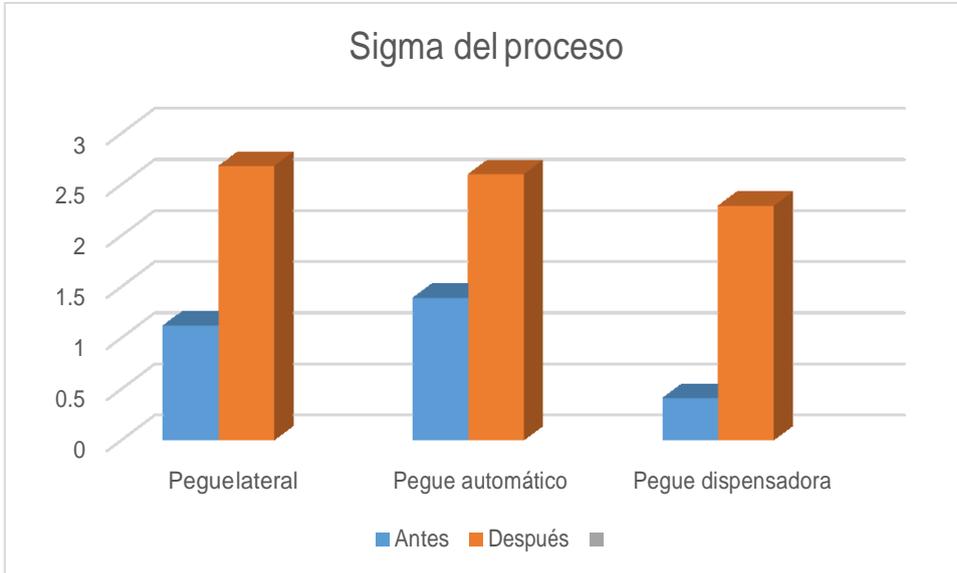
Gráfica 8: Tendencia a la reducción de los tiempos de cambio por tipo de pegue.



Fuente: Los autores

Todo lo anterior se vio reflejado en los valores del Sigma del proceso cuya variación fue ascendiendo para todos los tipos de pegue, tal y como se muestra en la gráfica 9, que en línea de tendencia se muestra el caso del pegue lateral cuyos valores variaron de 1.5 hasta 2.68.

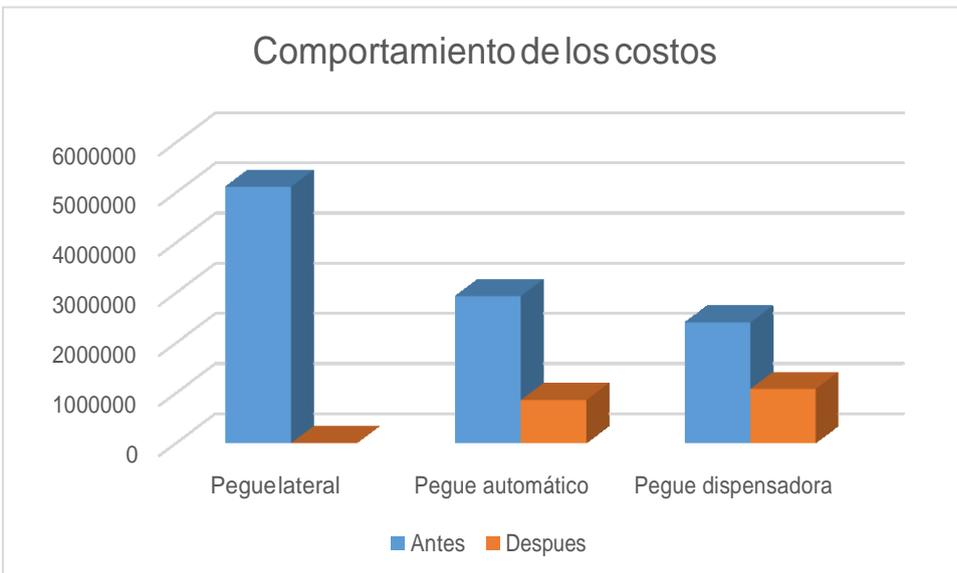
Gráfica 9. Variación de valores de Sigma (σ) del proceso



Fuente: Elaboración propia.

Asimismo se cuantificó el impacto de las mejoras en los costos asociados con la reducción de los tiempos, como se muestra en la gráfica 10.

Gráfica 10: Impacto de las mejoras en los costos del proceso



Fuente: Elaboración propia.

La tabla 10, muestra una comparativa de los resultados obtenidos para los indicadores de capacidad del proceso antes y después de la implementación del procedimiento.

Tabla 10. Comparación de indicadores de capacidad del proceso antes y después de la mejora.

Indicador	Antes			Después (Periodo de Implementación)		
	Pegue Lateral	Pegue Autom.	Pegue Disp.	Pegue Lateral	Pegue Autom.	Pegue Disp.
Capacidad del proceso (Cp, Cpk)	Cp = 0.62 Cpk = 0.06	Cp = 0.58 Cpk = 0.02	Cp = 0.47 Cpk = 0.41	Cp = 0.76 Cpk = 0.32	Cp = 1.00 Cpk = 0.30	Cp = 1.23 Cpk = 0.30
Yield (Rendimiento)	43 %	47,1 %	12,6 %	88 %	86,5 %	78,5 %
Sigma del Proceso	1,12	1,39	0,41	2,68	2,6	2,29
DPMO	569.839,42	473.219,47	825.873,58	119.801,29	135.111,08	214.813,06

Fuente: Elaboración propia.

Todo el proceso de mejora fue validado y una vez se presentaron los valores estimados de la reducción de los tiempos de cambio en el tiempo en que se implementaron las propuestas, se proyectó un ahorro anual de alrededor \$27.760.199 millones de pesos.

CONCLUSIONES

El modelo propuesto, se estructuró a partir de las fases del diseño en ingeniería, estableciendo las herramientas a emplear en cada fase y un orden en el proceso de mejora lo que permitirá su generalización.

La integración de herramientas cuantitativas como la simulación discreta y el índice Press con herramientas Lean y el trabajo en equipo, suple falencias identificadas en otros modelos de la bibliografía, lo que permite su aplicación de forma ordenada, contribuyendo a su generalización a otros procesos.

La efectividad del procedimiento propuesto se evidencia en los impactos positivos generados en los indicadores de capacidad del proceso, como lo establece la metodología DMAIC, así como en la reducción de los costos y aumento de la productividad, al reducir tiempos improductivos por cambios de referencias

La participación de los empleados en el proceso de mejora fue decisiva, evidenciándose que sus habilidades y experiencia son relevantes para la organización y la base para el cambio cultural de trabajo participativo y en equipo.

El proceso sirvió como vía para generar transferencia de conocimientos universidad empresa.

BIBLIOGRAFÍA

- Linderman, K., Schroeder, R., & Sanders, J. (2010). Knowledge framework underlying process management. *Decision Sciences*, 689–719.
- Nedeliaková, E., Štefancová, V., & Kud, Š. (2017). Six Sigma and Dynamic Models Application as an Important. *Procedia Engineering 187 10th International Scientific Conference Transbaltica 2017*, 242 – 248.
- Pande, P., Neuman, R., & Cavanagh, R. (2000). *The Six Sigma Way: How GE, Motorola and Other Top*

- Companies are Honing Their Performance*. New York: McGraw-Hill.
- Perçin, S., & Kahraman, C. (2010). An integrated fuzzy multi-criteria decision-making approach for six sigma project selection. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 610-621.
- Alhuraies, I., Robledo, C., & Kobi, A. (2017). A comparative exploration of lean manufacturing and six sigma in terms of their critical success factors. *Journal of Cleaner Production*, 325-337.
- Álvarez, R., Calvo, R., Peña, M., & Domingo, R. (2009). Redesigning an assembly line through lean manufacturing tools. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 949-958.
- Amaya Parra, G., & et al. (2010). *DESARROLLO DE SEIS SIGMA: UNA VISIÓN GLOBAL*. ISBN 978-0-615-36191-8.
- Aqlana, F., & Al-Fandib, L. (2018). Prioritizing process improvement initiatives in manufacturing environments. *International Journal of Production Economics*, 261-268.
- Aragónés, P. (1997). *Aproximación a la Toma de Decisiones en Proyectos. Implementación de una metodología multicriterio y multiexperto: PRESS II. Tesis Doctoral*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Aragónes, P. (2003). *Técnicas de ayuda a la toma de decisiones en proyectos*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Aragónés, P. (2010). *Técnicas de ayuda a la toma de decisiones en proyectos*. Apuntes. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Arumugama, & et al. (2012). Linking learning and knowledge creation to project success in Six Sigma projects: An empirical investigation. *International Journal of Production Economics*, 388-402.
- Azian, N., Rahman, A., Sharif, S., & Mashitah, M. (2013). Lean Manufacturing Case Study with Kanban System Implementation. *Procedia Economics and Finance* 7, 174-180.
- Cakmakci, M. (2009). Process improvement: performance analysis of the setup. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, (4) 168-179.
- Choomlucksana, J., Ongsaranakorn, M., & Suksabai, P. (2015). Improving the Productivity of Sheet Metal Stamping Subassembly Area Using the Application of Lean Manufacturing Principles. *Procedia Manufacturing (2nd International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference, MIMEC2015)*, 102-107, Vol 2.
- Contreras, A. V. (2007). *Reglas de Lean Manufacturing*. Mexico: Limusa.
- Das, B., Venkatadri, U., & Pandey, P. (2014). Applying lean manufacturing system to improving productivity of air conditioning coil manufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 307-323.
- Diehl, M., & W, S. (1987). Productivity Loss in Brainstorming Groups: Toward the Solution of a Riddle. *Journal of Personality and Social Psychology*, 53: 497-509.
- Elizondo, R., Grabot, B., & Houe, R. (2016). Beyond Productivity and Continuous Improvement: Fundamentals required for Lean Complex transformation Unpublished. *IFAC-Papers OnLine*, 467-472.
- Erdogan, A., & Canatan, H. (2015). Literature Search Consisting of the Areas of Six Sigma's Usage. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 195 (, 695 - 704.
- Filardia, F., Bertib, B., & Morenoc, V. (2015). Implementation Analysis of Lean Sigma in IT Applications. A Multinational Oil Company Experience in Brazil. *Procedia Computer Science (3rd International Conference on Information Technology and Quantitative Management, ITQM 2015)*, 1221-1230, Vol 55.
- Garza, R., González, C., & al, e. (2016). Aplicación de la metodología DMAIC de seis sigma con simulación discreta y técnicas multicriterio. *Revista de métodos cuantitativos para la economía y la empresa*, 19-35.
- Garza, R., González, C., & Pérez, I. (2012). Comparación de métodos de ayuda a la decisión muti atributo en la solución del problema de itinerario de vehículos. *Revista Investigación Operacional*, 152-159.
- Garza, R., González, C., Pérez, I., & al, e. (2012). Concepción de un procedimiento utilizando

- herramientas cuantitativas para mejorar el desempeño empresarial. *Ingeniería industrial*, 239-248.
- González, C., Garza, R., & Pérez, I. (2008). Una Escala para la Selección Multicriterio de Alternativas Críticas. *14 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura*. La Habana.
- Gorane, S. J., & Kant R. (2017). Supply chain practices and organizational performance: An empirical investigation of Indian manufacturing organizations. *The International Journal of Logistics Management*, 75-101.
- Grima, P. A.-M. (s.f.).
- Grima, P., & et al. (2014). Six Sigma: hints from practice to overcome difficulties. *Total Quality Management & Business Excellence*, 198-208.
- Gutiérrez, H., & Salazar, R. (2009). *Control Estadístico de Calidad de Seis Sigma*. Mexico D.F.: Mc Graw Hill.
- Guzmán, P., & Konstantinos, F. (2013). Improving Changeover Time: A Tailored SMED Approach for Welding Cells. *Procedia CIRP*, Volume 7, pp 598–603.
- Hay, E. J. (2003). *La técnica japonesa que genera mayor ventaja competitiva*. Norma.
- Hoerl, R. (2001). Six Sigma black belts: what do they need to know? *Journal of Quality Technology*.
- Horbal, T., Kagan, R., & Koch, T. (2008). Implementing Lean Manufacturing in High-Mix Production Environment. *IFIP International, Federation for Information Processing, Lean Business Systems and Beyond*, 257–267.
- Indrawati, S., & Ridwansyah, M. (2015). Manufacturing Continuous Improvement Using Lean Six Sigma: An Iron Ores Industry Case Application. *Procedia Manufacturing (Industrial Engineering and Service Science 2015, IESS 2015)*, 528–534.
- Kurdve, M. Z. (2014). Lean and green integration. *Journal of Cleaner Production*, 262-275.
- Kwun Wang, F., Hsoun Hsu, C., & Hsiung, G. (2014). Applying a Hybrid MCDM Model for Six Sigma Project Selection. *Mathematical Problems in Engineering*.
- Law, A. M. (2013). *SIMULATION MODELING AND ANALYSIS*. McGraw Hill- Education.
- Mantilla, & Sánchez. (2012). A technological approach to the development of logistic projects using "Lean Six Sigma". *Estudios Gerenciales*, 23-43.
- Mast, J., & Lokkerbol, J. (2012). An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. *International Journal of Production Economics*, 604, 614.
- Muslimen, R., Mohd, S., & Z., Z. A. (2011). Lean Manufacturing Implementation in Malaysian Automotive Components. *Proceedings of the World Congress on Engineering*.
- Ocampo, J. (2012). APLICANDO LA METODOLOGÍA DMAIC-SIMALA MEJORA DEL TIEMPO DE ATENCIÓN EN MIGRACION EN EL AEROPUERTO DE SAN PEDRO SULA. *Innovare*, 44-79.
- Ocampo, J., & Pavón, A. (2012). Integrando la Metodología DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexsim. *Tenth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2012)*. Panama City, Panama: LACCEI.
- Orlandoni M, G. (2012). Gestión de la Calidad: Control Estadístico. *TELOS. Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 269-274.
- Pattanai, L. N., & Sharma, B. (2009). Implementing lean manufacturing with cellular layout: a case study. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 772-779.
- Pérez L, E., & García C, M. (2014). Implementación de la metodología DMAIC Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal. *Tecnología en Marcha*, 88-106.
- Pérez, I. (2001). *Procedimiento para la optimización de decisiones en experimentos simulados*. La Habana: Tesis doctoral. ISPJAE.
- Polendo, M., Parroquín, P. C., Noriega, R., & Romero, R. (2016). Mejoramiento de tiempos de servicio a usuarios de laboratorios de una institución de educación superior. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, 38-49.
- Reyes, A., & Carvajal, J. (2014). Plan de Mejora para la reducción de Desperdicios en el Proceso de Impresión de Plegadizas en una Industria de Artes Gráficas. Cali, Valle del Cauca, Colombia.
- Rimantho, D., Abdul, T., Cahyadi, B., & Herrnawati, T. (2017). Application of six sigma and AHP in analysis of variable lead time calibration process instrumentation. *The 1st*

- International Conference on Mathematics, Science, and Computer Science (ICMSC) 2016*. East Kalimantan, Indonesia: ISBN: 978-0-7354-1481-5 American Institute of Physics.
- Rivera, L. (2008). JUSTIFICACIÓN CONCEPTUAL DE UN MODELO DE IMPLEMENTACIÓN DE LEAN MANUFACTURING. *Heuristica* 15,91-106.
- Saaty, T. (1980). *The analytical Hierarchical Process* (Vol. 1). New York: J Wiley.
- Saaty, T. (1990). *Decision making for Leaders: the Analytic Hierarchy Process for decision in a complex World*. University of Pittsburgh, Pittsburgh, USA.: Editorial RWS Publications,.
- Senge, P. M. (1990). *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*. New York: Doubleday,.
- Shingo, S. (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*.
- Shingo, S. (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. . Stanford, CT: Productivity Pres.
- Simmons, L., Holt, R., Dennis, G., & Walden, G. (2010). Lean Implementation in a Low Volume Manufacturing Environment: a Case Study. *Proceedings of the 2010 Industrial Engineering Research Conference*.
- Sturrock, D. (2009). Tips for successful practice of simulation. . *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*.
- Sutari, O. (2015). Process Improvement using Lean Principles on the Manufacturing of Wind Turbine Components—a Case Study. *Materials Today: Proceedings* 2, 3429–3437.
- Toro, J., & Mosquera, J. (junio de 2015). Reducción de tiempos de alistamiento en la pegadora RC 70 en el pegue de plegadizas. Cali, Valle del Cauca, Colombia.
- Treviño, A. (23 de octubre de 2017). <http://melter.com.mx>. Obtenido de <http://melter.com.mx>: <http://melter.com.mx/que-es-lean-manufacturing/>
- Valenzuela C, J., & Palacios V, J. (2010). REDUCIR EL TIEMPO DE PREPARACION UTILIZANDO EL SISTEMA SMED EN UNA MAQUINA DE PRODUCCION POR MEDIO DE LA METODOLOGIA DMAIC. ISBN 978-0-615-36191-8.
- Wang, F.-K., Hsu, C.-H., & Gwo-Hshung, T. (2014). Applying a Hybrid MCDM Model for Six Sigma Project Selection. *Mathematical Problems in Engineering*.
- Wiklund, H., & Wiklund, P. (2002). Widening the six sigma concept: an approach to improve organizational learning. *Total Quality Management*, 233-239.
- Womack, J. P., & Jones, D. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York: Simon and Schuster.