

MEJORA DE LA EFICIENCIA EN LA PRODUCCIÓN DE AUTOPARTES A TRAVÉS DE MANUFACTURA ESBELTA Y SIMULACIÓN

Data de submissão: 06/09/2024

Data de aceite: 02/10/2024

Josué Velázquez Serrano

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma – México
<https://orcid.org/0009-0008-7207-5956>

Héctor Rivera-Gómez

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma – México
<https://orcid.org/0000-0002-2903-2909>

Sergio Blas Ramírez Reyna

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma – México
<https://orcid.org/0000-0003-0827-7074>

Lidia Ramírez Quintanilla

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma – México
<https://orcid.org/0009-0006-6270-0469>

RESUMEN: Este capítulo se centra en la optimización del proceso de producción de cigüeñales de motores de automóviles mediante la aplicación de técnicas de manufactura esbelta y simulación de eventos discretos. El proceso actual se enfrenta a ineficiencias como cuellos de botella, altos niveles de inventario y excesivo tiempo que no agrega valor, que dificultan la capacidad de la empresa para satisfacer la demanda diaria de producción. El objetivo principal del estudio es reducir el tiempo que no

añade valor, eliminar los cuellos de botella y mejorar la eficiencia del flujo de trabajo para aumentar la productividad y satisfacer la demanda de los clientes. Se proponen varias mejoras, como la introducción del trabajo estandarizado, las células de producción, los sistemas Poka Yoke y el Mantenimiento Productivo Total (TPM). También se realizaron ajustes específicos en varias fases del proceso, como la reducción de los tiempos de corte y la implantación de la sujeción hidráulica. Se realizó una simulación de los estados actual y futuro del proceso para evaluar el impacto de estas mejoras. Los resultados mostraron una reducción significativa del tiempo que no agrega valor, de 18.53 días a 3.01 días, lo que representa una disminución del 84,46%. La producción diaria aumentó de 427.72 unidades a 681.31 unidades, superando la demanda requerida. En conclusión, la integración de técnicas de manufactura esbelta mejoró significativamente la eficiencia del proceso de producción, reduciendo los plazos de entrega en un 83.54% y garantizando que se pudiera satisfacer la demanda diaria. Estas mejoras demuestran la eficacia de las metodologías lean para optimizar los sistemas de producción y mejorar la productividad global.

PALABRAS-CLAVE: Mapa de flujo de valor, manufactura esbelta, simulación.

IMPROVING EFFICIENCY IN AUTO PARTS PRODUCTION THROUGH LEAN MANUFACTURING AND SIMULATION

ABSTRACT: This chapter focuses on the optimization of the automotive engine crankshaft production process through the application of lean manufacturing techniques and discrete event simulation. The current process faces inefficiencies such as bottlenecks, high inventory levels, and excessive non-value-added time, which hinder the company's ability to meet the daily production demand. The main objective of the study is to reduce non-value-added time, eliminate bottlenecks and improve workflow efficiency to increase productivity and meet customer demand. Several improvements are proposed, such as the introduction of standardized work, production cells, Poka Yoke systems and Total Productive Maintenance (TPM). Specific adjustments were also made at various stages of the process, such as the reduction of cutting times and the implementation of hydraulic clamping. A simulation of the current and future states of the process was performed to evaluate the impact of these improvements. The results showed a significant reduction in non-value-adding time, from 18.53 days to 3.01 days, representing a decrease of 84.46%. Daily production increased from 427.72 units to 681.31 units, exceeding the required demand. In conclusion, the integration of lean manufacturing techniques significantly improved the efficiency of the production process, reducing lead times by 83.54% and ensuring that daily demand could be met. These improvements demonstrate the effectiveness of lean methodologies in optimizing production systems and improving overall productivity.

KEYWORDS: Value stream map, lean manufacturing, simulation.

INTRODUCCIÓN

En respuesta a la creciente demanda de eficiencia y competitividad en el ámbito industrial, se ha vuelto imperativo para muchas organizaciones explorar y adoptar metodologías que optimicen sus procesos de producción. En este contexto, la manufactura esbelta se ha convertido en un método efectivo y poderoso para aumentar la eficiencia de la cadena de valor y reducir el desperdicio. Respecto a esto, (Ohno, 2019) define al desperdicio o muda como todo lo que es adicional a los equipos, materiales, componentes y personal mínimo imprescindible para la producción.

En este contexto, las empresas están buscando técnicas de producción eficientes para enfrentar la competitividad del mercado, tomando la Manufactura Esbelta como aliada debido a su alta efectividad; aunque comúnmente el interés en este sistema se desarrolla en grandes empresas, siendo desconocido entre las pequeñas y medianas empresas (PYMEs) o, de lo contrario, calificado como difícil de implementar (Martínez-Cerón et al., 2022). En México, la aplicación de estos conceptos aún es incipiente debido a la falta de conocimiento de estas técnicas que permiten determinar el tiempo takt, la tasa de producción, en un entorno de modelos mixtos con múltiples productos y, por supuesto, uno de los temas más desafiantes: cómo lidiar con procesos que son compartidos entre muchas familias de productos o recursos compartidos.

El propósito principal de esta investigación es analizar la cadena de valor mixta de una empresa utilizando modelos de simulación de eventos discretos. Para trazar un análisis detallado del estado actual y futuro de la empresa, se aplicarán los principios de la manufactura esbelta, con un enfoque en el diagrama de cadena de valor o mapas de flujo de valor (VSM). Los indicadores clave de desempeño del proceso se utilizarán para determinar el beneficio de las técnicas de manufactura esbelta y la simulación.

MARCO TEÓRICO

En la actualidad, las organizaciones se encuentran en la búsqueda continua de soluciones prácticas para fomentar su sostenibilidad económica. De acuerdo a (Camacaro-Peña et al., 2021) las organizaciones desperdician tiempo, espacio y costos a lo largo de su cadena de valor, lo que les impide cumplir con los estándares de productividad y rendimiento necesarios para satisfacer las necesidades del cliente final.

Las empresas logran un mejor rendimiento operativo al cumplir con los requisitos clave de rentabilidad, calidad y satisfacción del cliente (Garza-Reyes et al., 2018). Sin embargo, la identificación de desperdicios por parte de una organización no siempre es un procedimiento ágil y sencillo de llevar a cabo, ya que es necesario tener en cuenta que el desperdicio, en cualquier actividad, es algo que absorbe recursos sin otorgar valor al cliente. Debido a esto, requiere tiempo y, a menudo, incluso interrupciones y cambios experimentales en los procesos de fabricación. En una estrategia de progreso a largo plazo, esta inversión se traducirá en una disminución en los costos de producción y, en consecuencia, un precio más competitivo que atraerá la atención del cliente final (Trujillo Lopez, 2022). Las metodologías de fabricación eficiente pueden lograr resultados significativos en el desempeño operacional de las industrias, por lo que son cruciales para identificar problemas en la cadena de valor.

Con el propósito de minimizar el desperdicio en toda la producción, de acuerdo a (Lu et al., 2022), el Sistema de Producción Toyota (TPS, por sus siglas en inglés), también conocido como el Sistema de Producción Lean (LPS), es un método avanzado para la organización y gestión de la producción creado por Toyota Motor Corporation, Japón, con el objetivo de eliminar desperdicios y reducir costos mediante la mejora de actividades basadas en la metodología Justo a Tiempo (JIT) y la automatización. Es una herramienta efectiva para mejorar la eficiencia del proceso con el concepto central de eliminación de desperdicios y mejora continua. TPS fue aplicado por primera vez a la gestión de procesos de fabricación y luego fue introducido gradualmente en otras industrias.

Similar a un sistema de tirar (pull), la metodología JIT contradice la noción de almacenamiento, contemplando solo lo necesario, en la cantidad correcta, en el lugar correcto. Es una gran herramienta para gestionar y monitorear toda la producción de un pedido, ya que permite reducir drásticamente el stock de materiales y, cuando se aplica junto con un tablero Kanban, permite llevar a cabo un seguimiento detallado paso a paso,

evitando así que ocurran desperdicios en las formas más diversas, como tiempos de producción, materiales crudos, horas pico de trabajo, etc (Paladugu & Grau, 2020). Sin embargo, de acuerdo a (Atwal, 2019), la mayor desventaja de este proceso, además de no ser aplicable en todas las empresas, también está relacionada con el factor de compromiso del proveedor.

Con el paso de los años, muchas empresas han comenzado a implementar la Técnica Lean, que es una de las técnicas industriales prominentes (Rathi *et al.*, 2022). El objetivo principal de cada organización es maximizar el flujo de producción y minimizar los desperdicios no deseados del tipo que no añade valor, lo que finalmente resulta en una mayor satisfacción del cliente al entregar un mejor producto con calidad satisfactoria a un precio justo.

El Lean Manufacturing o manufactura esbelta es un paradigma de organización y de manejo de la cadena de suministro que incluye a personas, materiales, máquinas y métodos. Sus principales funciones son mejorar la calidad y la eficiencia mediante la eliminación continua del despilfarro e incrementar la satisfacción del cliente (Socconini, 2019). Diversas empresas han evaluado las herramientas que lo engloban, sin embargo, el enfoque ha sido otro, concentrándose en herramientas como las 5s y el ya mencionado JIT. Sin realmente influir en el lean como sistema totalmente completo, el cual en esencia debería estar integrada en una organización cultural (Liker, 2020).

La metodología Lean Manufacturing es ideal para contextos en los que la fabricación de los productos se realiza mediante procesos discretos y repetitivos, ya sea para volúmenes pequeños, medianos o grandes. Se debe tener en cuenta ciertos factores para su correcta aplicación, como por ejemplo disponer de un equipo bien adaptado y el conocimiento de recopilación y análisis de información (Ortiz Porras, 2023).

A diferencia de la producción 4.0, la manufactura esbelta se basa en procesos estandarizados, identificación de anomalías, resolución de problemas y mejora continua para reducir actividades de desperdicio y alcanzar niveles más altos de flujo (Forcadell, 2021). Un corto tiempo de entrega a través de una cadena de procesos (un flujo de valor) resulta en una mayor producción y, por lo tanto, en una mayor productividad, lo que aumenta el valor agregado total dentro de este período dado.

En este contexto, el flujo de valor se refiere a todas las actividades (tanto las que agregan valor como las que no) que son esenciales para producir un determinado producto a través de la implementación de tres habilidades de gestión críticas, es decir, gestión de la información, resolución de problemas y transformación física. Como resultado, implementar y controlar el sistema esbelto es de hecho un enfoque innovador para lograr una gestión estratégica exitosa (Zahraee *et al.*, 2020).

Entonces, según Yuvaraj *et al.* (2019) la Fabricación Esbelta tiene como objetivo reestructurar y remodelar los métodos corporativos mediante la eliminación de desperdicios y, por lo tanto, la reducción de gastos. Con este fin, una de las estrategias más significativas

utilizadas en las operaciones de fabricación es el “VSM”. El mapeo del flujo de valor (VSM, por sus siglas en inglés), también conocido como mapa de cadena de valor, se desarrolla como una estrategia para investigar procesos, identificando actividades que generan valor agregado y actividades que no generan valor agregado. Este método se utiliza para comprender cómo fluye el valor a través de una empresa (Baumont De Oliveira *et al.*, 2020). Desde la perspectiva del cliente, los objetos se representan como agregando valor o no agregando valor, con el objetivo de eliminar elementos que no contribuyan valor. La línea de ensamblaje no es el único lugar donde se utiliza el mapeo del flujo de valor, también conocido como “visualización” o “mapeo” de un proceso. Esto debido a que mejora la comunicación y colaboración del equipo, el mapeo del flujo de valor magro ha ganado popularidad en el trabajo de conocimiento (Dinesh *et al.*, 2022).

Para ofrecer una demostración visual del desperdicio exacto que se crea a través de un proceso dado, es necesario construir un Mapa de Flujo de Valor (VSM). Con el uso de este mapa, los procesos de fabricación actuales pueden ser evaluados fácilmente, y se pueden crear procesos ideales para el futuro. Con la expansión tan grande del campo de la manufactura en todo el mundo, las empresas necesitan estar bien adaptadas a estrategias comerciales que están en constante evolución en este emocionante contexto.

Según Patil, Pisal y Suryavanshi (2021) la herramienta de mapeo del flujo de valor se aplica como un medio para avanzar hacia la fabricación esbelta y como una fórmula para dirigir las actividades de mejora. Los objetivos del VSM son observar el flujo de material en tiempo real desde el cliente final hasta la materia prima y visualizar las pérdidas en el proceso, utilizando símbolos para representar el proceso de manera visual y clara. Un enfoque esbelto estimula una nueva dirección para planificar y realizar actividades de manera efectiva y eficiente en el sistema de fabricación.

Por su parte, la tarjeta Kanban se ha utilizado para identificar problemas en el flujo de producción, manteniendo la sincronización del inventario y el flujo de material entre las celdas de producción. El método Kanban se focaliza en la administración del flujo de trabajo optimizando los servicios que brindan labor de conocimiento. Tiene por objetivo auxiliar a la visualización del mismo maximizando la efectividad y la mejora ininterrumpidamente (Nikolay, 2021). Implementando el método Kanban se genera la señal de cuando el producto está escaseando, solicitando ser reaprovisionado, gestionando un “pull”, donde el ciclo continúa desde el final al principio del ciclo de producción.

Para analizar un diagrama VSM de manera más efectiva, es crucial considerar su naturaleza estática en términos de tiempo, lo cual representa una limitación inherente del VSM al ofrecer solo una representación estática del flujo de valor y sugerir cambios evidentes. Abdulmalek (2007) sugiere que la simulación de los recursos reales empleados en el proceso de producción puede ser una opción valiosa para enriquecer el análisis de un VSM convencional. Según Anand y Kodali (2009), la simulación implica realizar pruebas diversas en software especializado de sistemas de producción, explorando diferentes alternativas de mejora. La información recopilada en el VSM se introduce luego en un software de simulación para llevar a cabo estas pruebas.

Según Tobar Arizaga (2022), la simulación tiene por objetivo facilitar al analista a entender las relaciones causa-efecto entre variables contenidas en el sistema, así como la importancia relativa de sus componentes. Conocido el objetivo, la simulación se vuelve una herramienta que se ajusta y permite jugar con el modelo, para poderlo mejorar constantemente con diferentes herramientas y posibilidades de mejora. Cualquier empresa que pretenda ser más competitiva, debe gestionar sus recursos de una forma eficiente, siendo necesario conocer todas las metodologías disponibles para esa gestión, una de ellas son las herramientas informáticas, que permiten solucionar problemas de una gran complejidad sin requerir una gran inversión ni demasiado tiempo, existiendo softwares especializados para cualquier proceso industrial en el mercado y también sus tutoriales (Dueñas Guerra, 2020).

De este modo, Vega Anzules (2021), resume que la simulación es la representación del modelo de un sistema a lo largo del tiempo para estudiar su comportamiento y evaluar ciertas estrategias, pudiendo anticiparse a posibles problemas. Se realiza mediante un software, de otra manera podría resultar no rentable desde un punto de vista económico. Existen gran cantidad de software de simulación como Arena, Matlab, FlexSim, Witness, Simio, Anylogic, Sim3D, entre otros.

La presente investigación se auxilia del software Arena para la simulación del VSM. Arena es un software de simulación desarrollado por Systems Modeling y adquirido por Rockwell Automation en 2000. Este software utiliza el procesador SIMAN y el lenguaje de simulación. Este software aporta modelos experimentales con módulos que reprendan proceso o lógica, además, a partir de un proceso se genera un sin fin de modalidades para buscar soluciones a los problemas en los cuales no se tenga claro el porqué de estas deficiencias y permitirá encontrar soluciones con un mínimo de riesgo en la inversión (Coral Valdivia, 2020).

La integración de la simulación de eventos discretos con el VSM proporciona múltiples beneficios, ya que enriquece la dinámica del VSM y facilita la toma de decisiones respecto a modificaciones en los procesos de fabricación. Se presenta como una herramienta poderosa para modelar y analizar el comportamiento de sistemas complejos de manufactura. Al simular el proceso de producción, es posible evaluar diferentes escenarios, identificar cuellos de botella, y prever el impacto de posibles cambios en el sistema. Esto proporciona a los gestores una visión más clara y precisa de cómo mejorar la eficiencia y la productividad en la planta.

Además, aprovecha la adaptabilidad y capacidad analítica de la simulación. Dado que el VSM y la simulación de eventos discretos son enfoques complementarios que permiten un análisis más profundo de los sistemas de producción modernos, este capítulo se enfoca específicamente en su combinación para estudiar y mejorar los sistemas productivos. La combinación del VSM y la simulación de eventos discretos representa una sinergia poderosa en la mejora de los sistemas productivos. Esta sinergia permite una comprensión más profunda de los sistemas de producción modernos y ofrece herramientas precisas para su optimización continua.

Por último, se hace necesario mencionar que uno de los contrafuertes más importantes dentro de la TPS es la filosofía Kaizen. Esta ideología se ha distinguido por la constante búsqueda de la perfección en los procesos, así como el mantenimiento del TPS día con día. Se auxilia a la detección y solvento de los problemas dentro de las áreas de organización teniendo como meta inspeccionar y mejorar los procesos que se llevan a cabo en la misma (Lean Construction México, 2020). El implementar el método Kaizen, es asumir la cultura del progreso continuo, el cual se centraliza en la depuración de los desperdicios y la destitución de los sistemas productivos. Esta ideología tiene sus pilares en el compromiso y disciplina a todo el nivel de ordenamiento.

Entonces, la constante búsqueda de la perfección y la mejora continua son valores intrínsecos de Kaizen, los cuales se alinean perfectamente con los principios de eficiencia y eliminación de desperdicios del VSM. La implementación de Kaizen dentro de un sistema mejorado por la simulación y el VSM puede potenciar aún más la capacidad de adaptación y evolución de los procesos productivos, consolidando así un enfoque integral hacia la excelencia operativa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este estudio, se implementó una metodología de manufactura esbelta en el proceso de producción de cigüeñales de motores de combustión interna de una planta automotriz. El enfoque utilizado se compone de los siguientes pasos:

1. **Selección del proceso a analizar:** El proyecto se centró en la manufactura de cigüeñales en una planta automotriz. Se identificó y documentó los tiempos de ciclo, tiempos de cambio, y otros tiempos relevantes en las operaciones actuales. Además de la información sobre los requerimientos del cliente, niveles de inventario y tasas de producción actual.
2. **Desarrollo del mapa de flujo de valor del estado actual:** En esta etapa, se incluyó todos los pasos del proceso de producción del cigüeñal, desde la recepción de materiales hasta la entrega del producto terminado. Identificando las actividades que agregan valor y las que no agregan valor.
3. **Análisis de desperdicios:** se utilizó la técnica de VSM para el proceso actual para identificar áreas de desperdicio y oportunidades de mejora en el proceso de producción. De esta manera se identificaron área de oportunidad para implementar mejoras en puntos críticos como parte de un proceso Kaizen.
4. **Desarrollo del mapa de flujo de valor del estado futuro:** Se implementaron diversas técnicas de manufactura esbelta para crear un flujo continuo en la línea de producción de cigüeñales. Las actividades clave de mejora incluyeron:
 - a. **Reducción del tiempo de ciclo:** Mediante la implementación de kaizen, se lograron reducciones significativas en el tiempo de ciclo en varias etapas del proceso.

- b. **Reducción del número de operarios:** La reorganización de las celdas y la eliminación de movimientos innecesarios permitieron reducir el número de operarios de cinco a tres.
 - c. **Implementación de flujo unidireccional:** Se eliminó el flujo en zigzag y se estableció un flujo unidireccional para mejorar la eficiencia.
5. **Modelos de simulación:** Se utilizaron modelos de simulación de eventos discretos para complementar el estudio del VSM del estado actual y el estado futuro, lo que permitió analizar y confirmar los beneficios potenciales antes de la implementación completa del estado futuro.

La presente investigación es un estudio de caso que explica la exitosa implementación de herramientas y técnicas de fabricación esbelta en el desarrollo e implementación del sistema de fabricación/producción de cigüeñales en una planta automotriz. La producción de cigüeñales es un proceso crítico que implica 13 operaciones, comenzando con el planeado y centrado, donde se crea el punto de referencia, hasta el rectificado final del diámetro del muñón y el diámetro del pasador, así como el lavado y aceitado. El cigüeñal se fabrica en 3 ubicaciones diferentes: la celda de torneado, celda de perforación de agujeros de aceite y celda de rectificado. En la celda de torneado, se colocan todas las máquinas de torneado y el movimiento del material es en zigzag. Hay un inventario de 10 unidades entre las máquinas y se almacenan 1000 unidades al final de la celda. Se cuenta con 2 operadores en dicha celda. La máquina de perforación de agujeros de aceite es operada por una persona con el mismo inventario y almacenamiento que la celda de torneado. Mientras que la celda de rectificado es operada por 2 operadores.

Los inconvenientes identificados incluyen que, en cualquier momento, se mantiene un inventario de 1000 unidades entre las celdas. La tasa de rechazo es alta y no hay comunicación entre los operadores de las máquinas de torneado, perforación de agujeros de aceite y rectificado para corregir los defectos. Además, el contenido de trabajo de los operadores no está equilibrado. La empresa busca mejorar el flujo del proceso, reducir los inventarios y eliminar todos los desperdicios del proceso. Para cumplir con este objetivo, se optó por utilizar un Mapa de Flujo de Valor (VSM) para la identificación de desperdicios y actividades que no agregan valor al proceso. Asimismo, se complementará con el uso del software de simulación Arena para poder evaluar las propuestas de mejora. Una vez definidas y seleccionadas las actividades principales que integran la producción de cigüeñales, se procedió a construir el mapa de flujo de valor actual, el cual se presenta en la Figura 1.

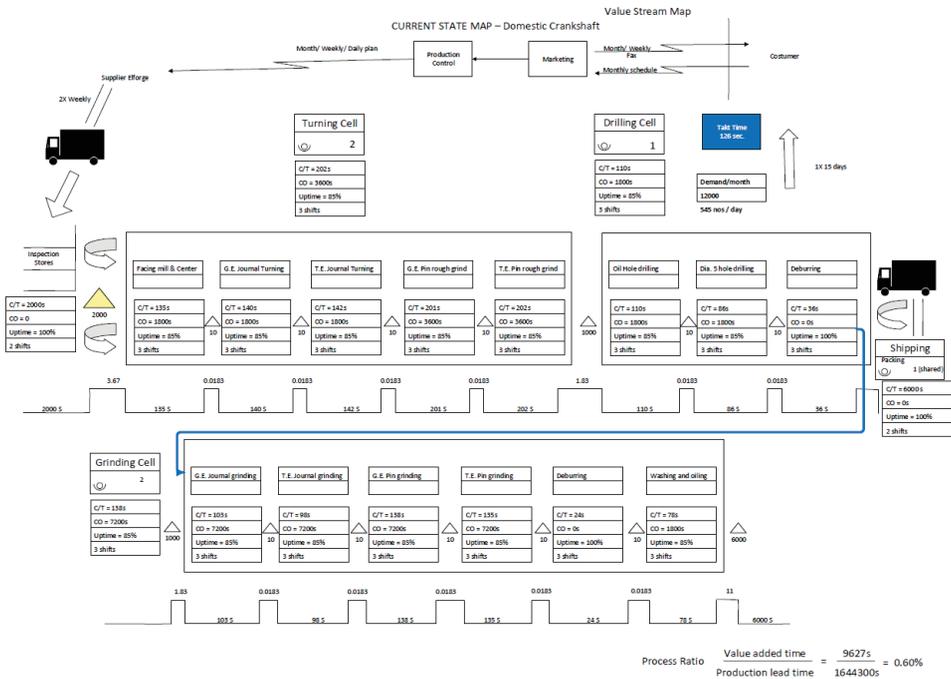


Figura 1. Mapa de fluxo de valor del estado actual del proceso.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis y simulación del estado actual

Una parte importante de este estudio fue el uso del software de simulación Arena para modelar el mapa de flujo de valor del estado actual. En este modelo se incluyó la mayor cantidad de información posible sobre cada actividad, como los tiempos de ciclo, disponibilidad, porcentajes de defectos, turnos, inventario, utilización, entre otros. La Figura 2 muestra parte del modelo de simulación del estado actual.

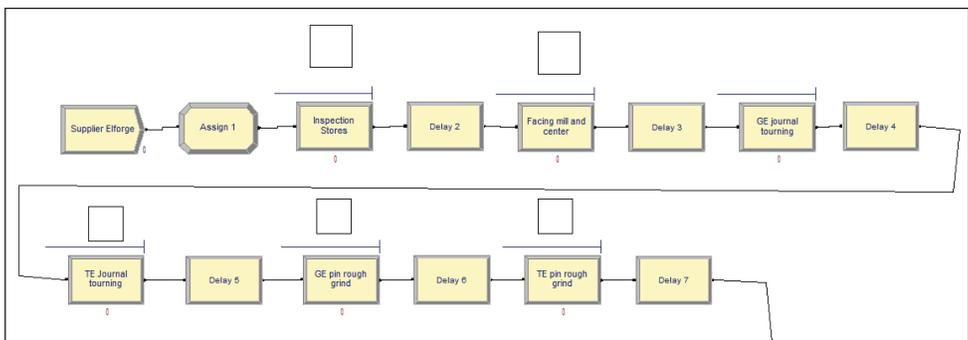


Figura 2. Modelo de simulación del estado actual.

La producción de cigüeñales de motor tiene un tiempo efectivo de trabajo de 480 minutos por turno, con tres turnos diarios, lo que totaliza 1,440 minutos al día para su fabricación. El requisito del cliente es de 12,000 unidades al mes lo cual equivale a 545 unidades diarias. El tiempo takt, o ritmo de producción necesario para con esta demanda, es de 126 segundos. La simulación realizada con el software Arena, indicó que las actividades que no agregan valor al proceso son 18.53 días, lo cual es muy alto en comparación con las actividades que sí agregan valor, que son solamente 16.47 minutos. Esto muestra indicador de radio de proceso de 0.60%. Los detalles sobre los tiempos que agregan valor y los que no agregan valor del estado actual se presentan en la Tabla 1.

	Tiempo que agrega valor (min)	Tiempo que agrega valor (seg)	Tiempo que no agrega valor (min)	Tiempo que no agrega valor (seg)	Tiempo que no agrega valor (días)	Índice de capacidad de proceso
Cigüeñales	160.47	9628.2	26685.07	1601104.2	18.53	0.6013%

Tabla 1. Tiempo que agrega y no agrega valor del estado actual.

Al analizar la utilización y el tiempo de ciclo de cada uno de los procesos involucrados en la producción de cigüeñales, encontramos que algunos procesos no pueden satisfacer la demanda diaria de 545 unidades, lo que impide cumplir con los requisitos del cliente. Para satisfacer esta demanda, es necesario ajustar los procesos que están por debajo de esta capacidad. Específicamente, los procesos de GE Pin rough grind y TE Pin rough grind que requieren una utilización del 127% para cumplir con la demanda diaria, lo que implica el uso excesivo de tiempo extra. Todos los datos de utilización, tiempo de ciclo y producción diaria mostrados por la simulación se presentan en la Tabla 2.

	Tiempo de ciclo promedio (min)	Tiempo de ciclo promedio (seg)	Tiempo necesario para satisfacer la demanda diaria (min)	Porcentaje de utilización (%)	Producción
Inspection stores	33.333	1999.98	18166.485	1262%	43.20
Facing mill & center	2.25	135	1226.25	85%	640.00
GE Journal Turning	2.3333	139.998	1271.6485	88%	617.15
TE Journal Turning	2.3667	142.002	1289.8515	90%	608.44
GE Pin rough grind	3.35	201	1825.75	127%	429.85
TE pin rough grind	3.3667	202.002	1834.8515	127%	427.72
Oil hole drilling	1.8333	109.998	999.1485	69%	785.47
Dia 5 hole drilling	1.433	85.98	780.985	54%	1004.88
Deburring	0.6	36	327	23%	2400.00
GE Journal grinding	1.7167	103.002	935.6015	65%	838.82
TE Journal grinding	1.6333	97.998	890.1485	62%	881.65

GE Pin grinding	2.3	138	1253.5	87%	626.09
TE pin grinding	2.25	135	1226.25	85%	640.00
Deburring 2	0.4	24	218	15%	3600.00
Washing and oiling	1.3	78	708.5	49%	1107.69
Shipping & packing	100	6000	54500	3785%	14.40

Tabla 2. Tiempo de ciclo, utilización y producción del estado actual.

La simulación del estado actual revela que, en promedio, se pueden producir 427.72 unidades diaria, lo cual significa que solamente se satisface el 78.48% de la demanda diaria del cliente. Además, la simulación identifica visualmente los cuellos de botella del proceso. Esta herramienta indicó que, hasta siete procesos, son cuellos de botella pues superan el tiempo takt de 126 segundos, como se muestra en la Figura 3.

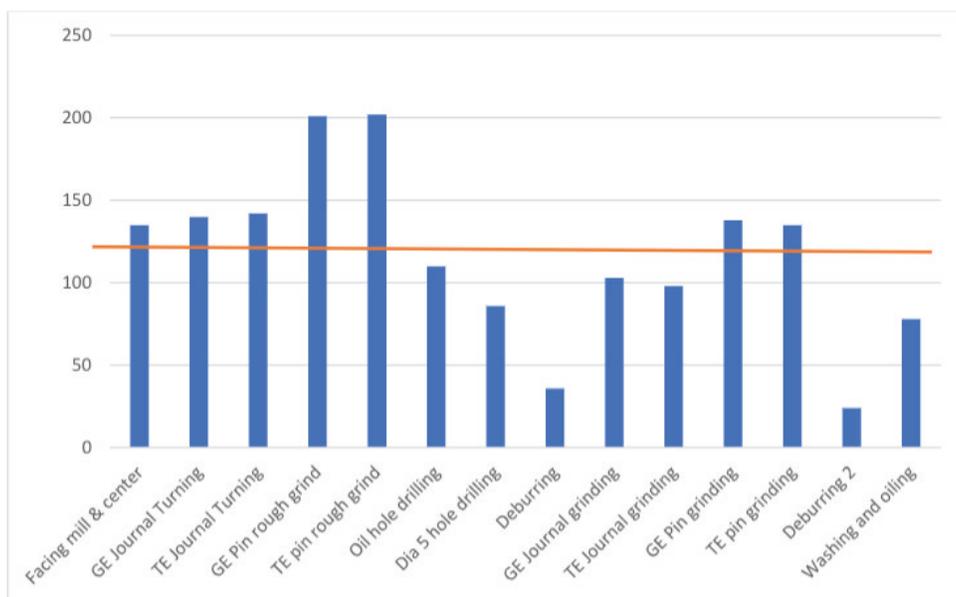


Figura 3. Cuellos de botella del estado actual.

También se muestra en la Tabla 3 el tiempo en el sistema de un cigüeñal. Este tiempo se calcula como la suma de las actividades que agregan valor y las que no agregan valor. La simulación revela que el proceso tarda 18.97 días, lo cual es demasiado alto para satisfacer la demanda mensual de los cigüeñales.

	Tiempo en el sistema (min)	Tiempo en el sistema (hrs)	Tiempo en el sistema (días)
Cigüeñales	27315.53	455.26	18.97

Tabla 3. Tiempo en el sistema estado actual

Por lo tanto, es de suma importancia implementar técnicas y herramientas de manufactura esbelta para mejorar las actividades dentro del tiempo takt, eliminar los cuellos de botella en el proceso y reducir o eliminar las actividades que no agregan valor al proceso. El resumen, los indicadores clave del estado actual se presentan en la Tabla 4.

	Tiempo Takt (seg)	Actividades que agregan valor (seg)	Actividades que no agregan valor (seg)	Tiempo en el sistema (seg)	Tiempo en el sistema (días)
Estado actual	126	9628.2	1601104.2	1638931.8	18.96

Tabla 4. Simulación del estado actual

Análisis y simulación del estado futuro

Una vez analizado los resultados de la simulación del estado actual del proceso de producción de cigüeñales, se detectaron problemas importantes en el flujo, como cuellos de botellas, altos niveles de inventario, gran cantidad de actividades fuera del tiempo takt y tiempos elevados que no agregan valor al proceso. A continuación, se detallan una serie de mejoras que fueron integradas en el mapa de flujo de valor del estado futuro, seguidas de una simulación para evaluar su efectividad.

- a. Introducción de trabajo estandarizado en todo el proceso para aumentar la consistencia y la uniformidad en la producción.
- b. Implementación de células de producción para optimizar el flujo de trabajo al agrupar equipos y maquinaria relacionados, lo que reduce los tiempos de configuración, mejora la comunicación entre los operadores y aumenta la eficiencia de producción.
- c. Introducción de Poka Yoke´s para la reducción de errores humanos y minimizar la posibilidad de defectos.
- d. Implementación del TPM para aumentar la disponibilidad de equipos y maquinaria, reducir los tiempos de inactividad no planificados.
- e. En el proceso Facing mill & center eliminar el planeado, reducir el tiempo de ciclo y reducir los desperdicios de ese proceso.
- f. En los procesos GE Journal Turning y TE Journal Turning reducir el tiempo de corte para mejorar la productividad y equilibrar la línea de producción.
- g. En los procesos GE Pin rough grind y TE Pin rough grind que es una de las actividades que genera cuellos de botella reemplazar el pasador giratorio M/C.
- h. Combinación de los procesos GE Journal grinding y TE Journal grinding.
- i. Introducción de sujeción hidráulica en los procesos GE Pin grinding y TE Pin grinding.

La Figura 4 presenta el mapa de flujo de valor del estado futuro, el cual incorpora los cambios sugeridos.

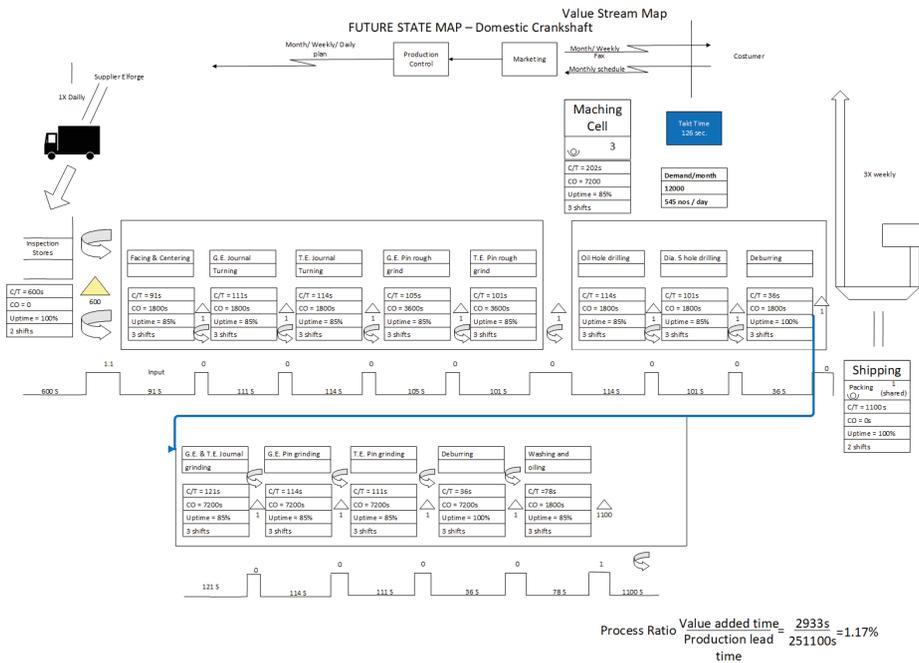


Figura 4. Mapa de flujo de valor futuro del proceso.

Parte del modelado de simulación del Mapa de Flujo de Valor del estado futuro, se presenta en la Figura 5.

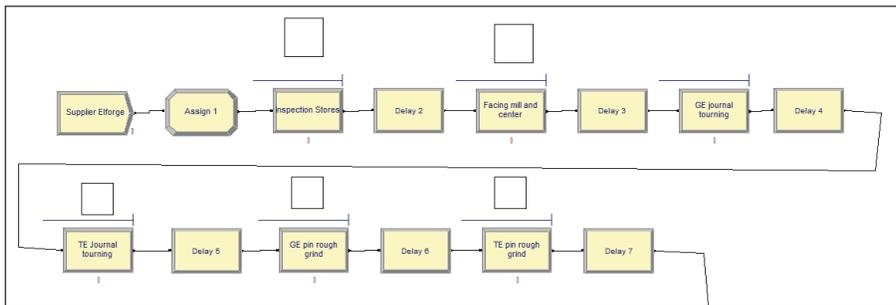


Figura 5. Modelo de simulación del estado futuro

Tras realizar la simulación del estado futuro, se observó una notable reducción en los tiempos de las actividades que agregan valor y de las actividades que no agregan valor, gracias a las propuestas de mejora implementadas. Se paso de 18.53 días de actividades que no agregan valor a solo 3.01 días, lo que representa una reducción considerable de 15.52 días. Todos los detalles sobre las actividades que agregan valor y no agregan valor se muestran en la Tabla 5.

	Tiempo que agrega valor (min)	Tiempo que agrega valor (seg)	Tiempo que no agrega valor (min)	Tiempo que no agrega valor (seg)	Tiempo que no agrega valor (días)	Índice de capacidad de proceso
Cigüeñales	48.88	2932.99	4146.33	248779.8	3.01	1.17%

Tabla 5. Tiempo que agrega y no agrega valor del estado futuro.

Con la implementación del trabajo estandarizado y las células de producción, se pudo resolver otro de los problemas del proceso, que eran los cuellos de botella. En el estado actual, se tenía hasta 7 actividades que superaban el tiempo takt. Sin embargo, en el estado futuro, solo una actividad se encuentra arriba del tiempo takt, y solo por un segundo, lo que tiene un impacto mínimo en la producción de los cigüeñales. Los detalles sobre los tiempos de ciclo, el porcentaje de utilización y la producción diaria de cada actividad se encuentran en la Tabla 6, se observa la reducción de los cuellos de botella y el aumento de producción.

	Tiempo de ciclo promedio (min)	Tiempo de ciclo promedio (seg)	Tiempo necesario para satisfacer la demanda diaria (min)	Porcentaje de utilización (%)	Producción (piezas)
Inspection stores	10	600	5450	396.65%	137.40
Facing mill & center	1.5167	91.002	826.60	60.16%	905.91
GE Journal Turning	1.85	111	1008.25	73.38%	742.70
TE Journal Turning	1.9	114	1035.5	75.36%	723.16
GE Pin rough grind	1.75	105	953.75	69.41%	785.14
TE pin rough grind	1.6833	100.998	917.39	66.77%	816.25
Oil hole drilling	1.9	114	1035.5	75.36%	723.16
Dia 5 hole drilling	1.6833	100.998	917.39	66.77%	816.25
Deburring	0.6	36	327	23.80%	2290.00
GE & TE Journal grinding	2.0167	121.002	1099.10	79.99%	681.31
GE Pin grinding	1.9	114	1035.5	75.36%	723.16
TE pin grinding	1.85	111	1008.25	73.38%	742.70
Deburring 2	0.6	36	327	23.80%	2290.00
Washing and oiling	1.3	78	708.5	51.56%	1056.92
Shipping & packing	18.3333	1099.998	9991.64	727.19%	74.95

Tabla 6. Tiempo de ciclo, utilización y producción del estado futuro.

Además, la Figura 6 proporciona una representación gráfica de los cuellos de botella en el estado futuro.

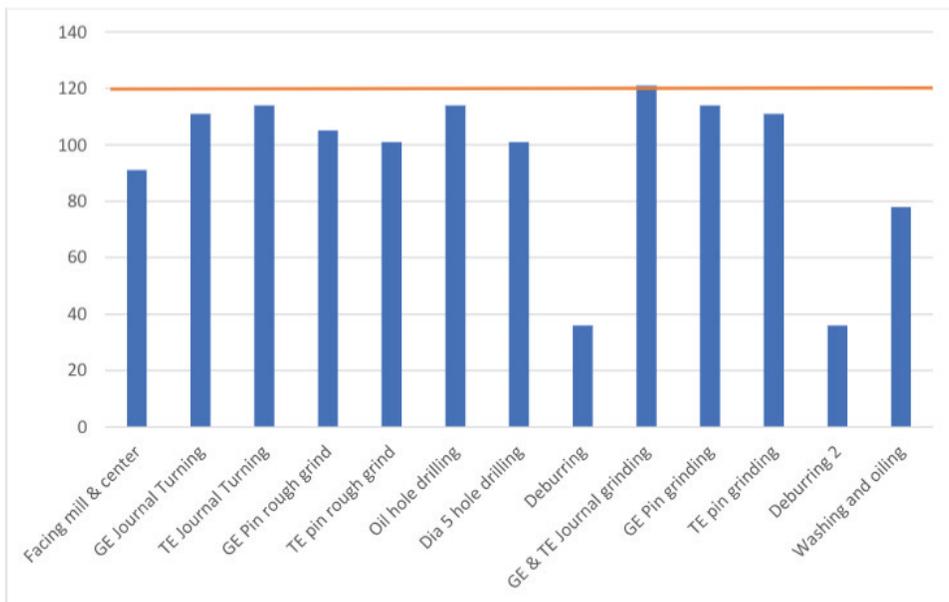


Figura 6. Cuellos de botella estado futuro.

La combinación de las actividades de mejora implementadas en la empresa, trajo como beneficio al proceso un tiempo en el sistema mucho más corto. Se pasó de 18.96 días a solamente 3.27 días, lo cual representa una reducción de 82.75% en el tiempo en el sistema del proceso. La Tabla 7 muestra el tiempo en el sistema del proceso del estado futuro.

	Tiempo en el sistema (min)	Tiempo en el sistema (hrs)	Tiempo en el sistema (días)
Cigüeñales	4498.03	74.96	3.27

Tabla 7. Tiempo en el sistema estado futuro

Las técnicas de manufactura esbelta implementadas en el proceso de producción de cigüeñales han aumentado de manera significativa la productividad y eficiencia. La producción diaria ha pasado de 427.72 unidades a 681.31 unidades, lo cual permite cumplir con la demanda diaria del cliente. Además, el tiempo de entrega se redujo en un 83.54%, pasando de 1,638,931.80 segundos en el estado actual a 269,779.80 segundos con las propuestas implementadas. La Tabla 8 presenta una comparación de los resultados entre el estado actual y el estado futuro.

	Produção (Unidades/dias)	Satisfação de la demanda (%)	Tiempo de entrega (seg)	Índice de capacidad de proceso
Estado actual	427.72	78.48%	1638931.80	0.062%
Estado futuro	681.31	125.01%	269881.80	1.179%

Tabla 8. Comparativa del estado actual y estado futuro.

En la Tabla 9 se muestra una comparación de los beneficios de la aplicación de técnicas y herramientas de manufactura esbelta en el proceso de cigüeñales. El tiempo takt sigue siendo el mismo tanto en el estado actual como en el estado futuro. El tiempo que no agrega valor se redujo en un 84.46%, pasando de 1,601,104.20 segundos a 248,779.80 segundos. Esta reducción es considerable y hace que el proceso sea más eficiente, lo cual permite satisfacer la demanda diaria y mensual de los clientes.

	Tiempo takt (seg)	Tiempo que agrega valor (seg)	Tiempo que no agrega valor (seg)
Estado actual	126.00	9628.20	1601104.20
Estado futuro	126.00	2933.00	248779.80

Tabla 9. Comparativa del estado actual y estado futuro

Para una mejor comprensión de los resultados obtenidos en la simulación del estado actual y estado futuro, se realizaron las siguiente graficas con los indicadores clave de rendimiento. Las Figuras 7 y 8 presentan la comparación del tiempo que agrega valor y el tiempo que no agrega valor del estado actual y el estado futuro del proceso.

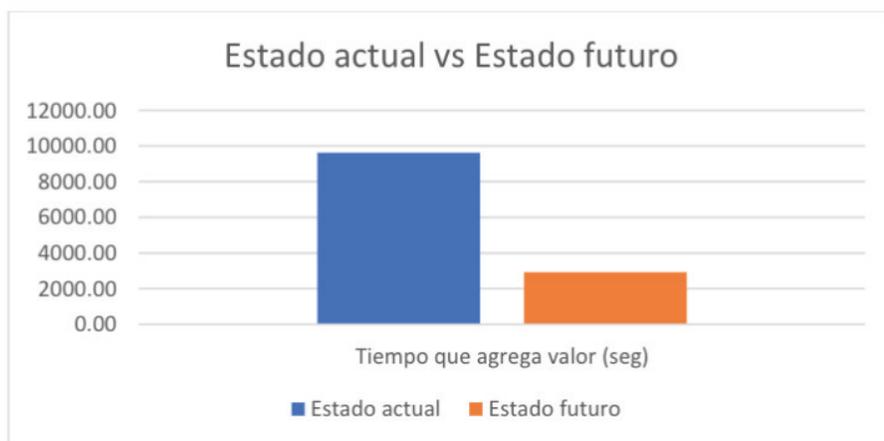


Figura 7. Comparación del tiempo que agrega valor del estado actual y futuro.

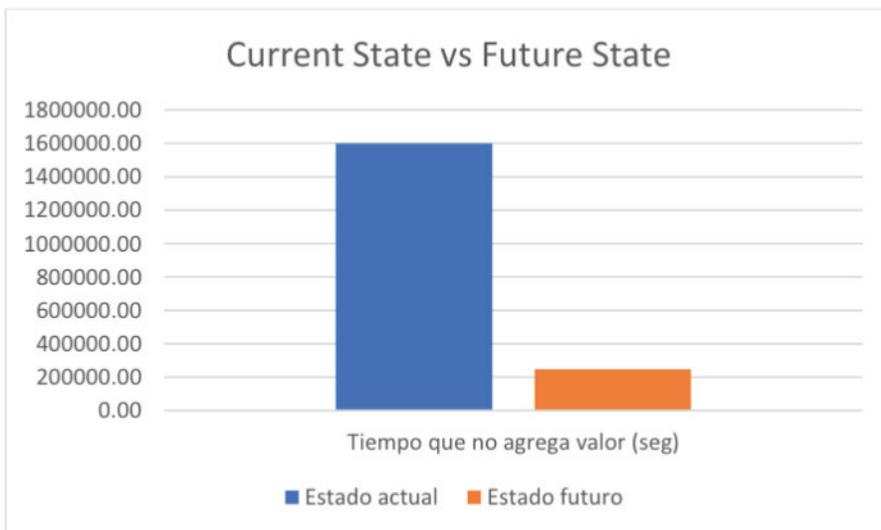


Figura 8. Comparación del tiempo no que agrega valor del estado actual y futuro.

En la Figura 9 se puede observar claramente un aumento considerable en las unidades diarias producidas al comparar el estado actual con el estado futuro.

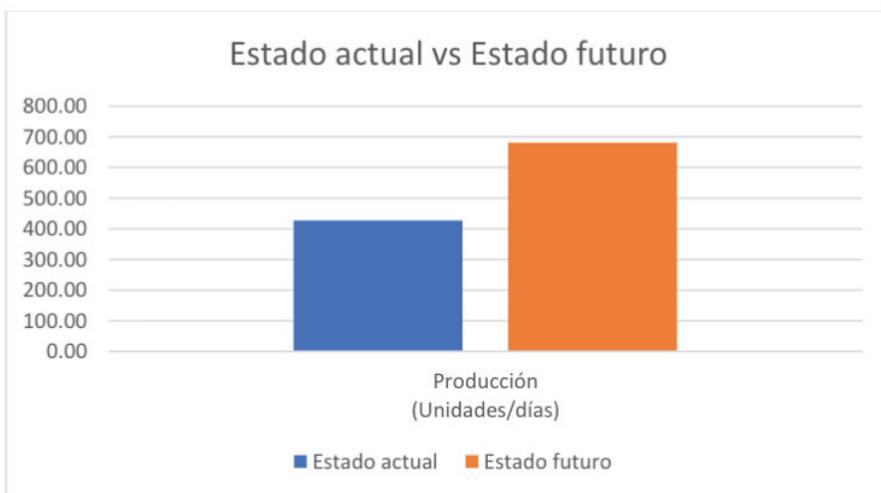


Figura 9. Comparación de las unidades producidas diarias del estado actual y futuro.

En la Figura 10, con la implementación de todas las técnicas y herramientas de manufactura esbelta, se puede observar como en el estado futuro se supera el 100% la demanda del cliente, mientras que en el estado actual está por debajo del 100%.

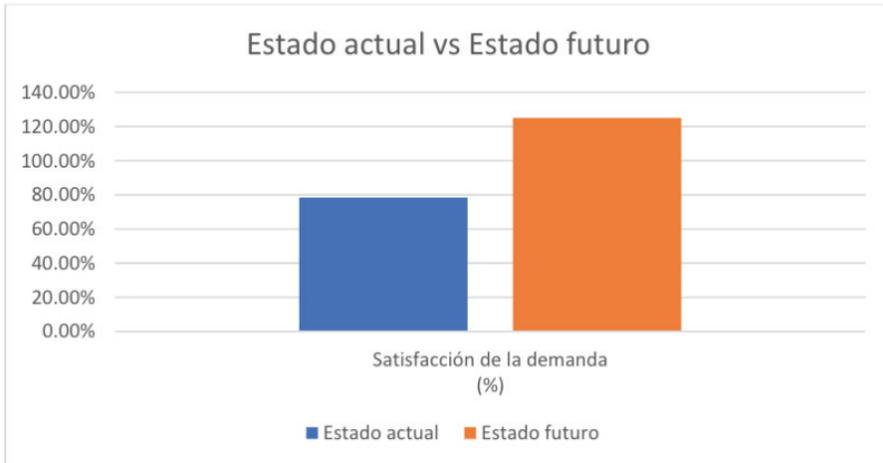


Figura 10. Comparación de la satisfacción de la demanda del estado actual y futuro.

CONCLUSIONES

El estudio demuestra cómo técnicas como el mapa de flujo de valor (VSM) y la simulación pueden ser herramientas fundamentales para abordar desafíos en la optimización de procesos industriales. La combinación de estas técnicas ha permitido identificar áreas de mejora, visualizar el flujo de trabajo y evaluar el impacto de cambios propuestos en el sistema de producción de cigüeñales.

Después de implementar técnicas y herramientas de manufactura esbelta en el proceso de producción de cigüeñales, se ha observado una mejora significativa en la eficiencia y la productividad. La reducción en los tiempos de ciclo, la optimización de los recursos y la eliminación de actividades que no agregan valor han llevado a un aumento en la producción diaria y una mejora en la capacidad de satisfacer la demanda del cliente.

Además, la simulación ha sido una herramienta invaluable en este estudio, permitiendo modelar y visualizar el proceso de producción de cigüeñales en diferentes escenarios. A través de la simulación, se pudo evaluar el impacto de las mejoras propuestas y prever cómo afectarían al rendimiento del proceso. Además, la simulación ha permitido identificar cuellos de botella, optimizar tiempos de ciclo y calcular indicadores clave de rendimiento, proporcionando una comprensión más profunda de la dinámica del sistema de producción.

REFERENCIAS

1. Atwal, H. (2019). Lean Thinking. Practical DataOps: Delivering Agile Data Science at Scale, 57-83.
2. Baumont De Oliveira, F., Forbes, H., Schaefer, D., Miliisavljevic Syed, J., (2020) Lean Principles in Vertical Farming: A Case Study. *Procedia CIRP*. 2020. vol. 93, p. 712–717. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.03.017>.
3. Blasco, M. J., & Pérez, J. A. (2007). Metodologías de investigación. Editorial Club Universitario.
4. Camacaro-Peña, M.A., Paredes-Rodríguez, A.M., Aulestia-Potes, C.D., & Henaoguerrero, M.G. (2021) Mapa de cadena de valor como una herramienta para la mejora de los procesos de cosecha y postcosecha en una empresa productora de piña. *Entramado*. Julio - Diciembre, 2021 vol. 17, no. 2, p. 226-242. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.7636>.
5. Coral Valdivia, J. E. (2020). Simulación del proceso de mantenimiento de camiones 797F en simulador Arena para mejora de la disponibilidad. Universidad Tecnológica del Perú.
6. Dinesh, S. N., Shalini, M., Vijay, M., Mohan, R. V., Saminathan, R., & Subbiah, R. (2022). Improving the productivity in carton manufacturing industry using value stream mapping (VSM). *Materials Today: Proceedings*, 66, 1221-1227.
7. Dueñas Guerra, J. O. (2020). Aplicación de un caso de estudio para la secuenciación de tareas por algoritmos, partiendo de la utilización teóricas de técnicas lean manufacturing y la simulación de procesos en el sector cartonero. Tesis de grado para optar al título de master en ingeniería de procesos y sistemas industriales. Universidad de Bogotá.
8. Forcadell Fabregat, J. (2021). Adaptación de les empresas de ingeniería al nuevo mundo digital acelerado por el COVID-19 (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
9. García Cantó, M., & Amador Gandia, A (2019). Cómo aplicar "Value Stream Mapping" (VSM). *3C Tecnología Glosas de innovación aplicadas a la Pyme*, 8(2), 68-83.
10. Garza-Reyes, J.A., Kumar, V., Chaikittisilp, S., & Tan, K.H., (2018). The effect of lean methods and tools on the environmental performance of manufacturing organisations. *Int. J. Prod. Econ.* 200, 170–180. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.03.030>.
11. Lean construction Mexico. (2020). ¿Qué es y en qué consiste la filosofía kaizen? pasos y ejemplos. 23 de septiembre del 2020 leanconstructionmexi. <https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/qu%C3%A9-es-y-en-qu%C3%A9-consiste-la-filosofia-kaizen-pasos-y-ejemplos>
12. Liker, J. K. (2020). Las claves del éxito de Toyota: 14 principios de gestión del fabricante más grande del mundo (2da ed., vol. 1). Paidós.
13. Lu, K. K., Zhang, M. M., Zhu, Y. L., Ye, C., & Li, M. (2022). Improving the quality of emergency intrahospital transport for critically ill patients by using Toyota production system methods. *Journal of Multidisciplinary Healthcare*, 1111-1120.
14. Martínez-Cerón, A., Hernández-Gracia, T. J., & Duana-Avila, D. (2022). Application of Value Stream Mapping (VSM) as a Lean Manufacturing management tool. *Journal of Administrative Science*, 4(7), 1-5.

15. Nikolay, T. (2021). What is jidoka? kanban software for agile project management. <https://kanbanize.com/continuous-flow/jidoka>
16. Ohno, T. & Bodek, N. (2019) Toyota production system: beyond large-scale production. Productivity press.
17. Ortiz Porras, J., Bancovich Erquínigo, A., Candia Chávez, T., Huayanay Palma, L., & Salas Bacalla, J. (2023). Método de aplicación de la herramienta Value Stream Mapping para aumentar la competitividad en una empresa textil y de confecciones. *Industrial Data*, 26(1), 33-61.
18. Paladugu, B. and Grau, D. (2020). Toyota Production System – Monitoring Construction Work Progress With Lean Principles. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, 5, 560-565.
19. Patil, A. S., Pisal, M. V., & Suryavanshi, C. T. (2021). Application of value stream mapping to enhance productivity by reducing manufacturing lead time in a manufacturing company: A case study. *Journal of applied research and technology*, 19(1), 11-22.
20. Rathi, R., Jagadeeswaran, M., Imran, G. M., Kumar, K. V., Eswar, K. V. R., & Sameerpasha, S. (2022). Investigation and implementation of VSM in water distillation plant. *Materials Today: Proceedings*, 50, 751-758.
21. Socconini, L. (2019). *Lean manufacturing. Paso a paso*. Barcelona, España: Marge books.
22. Tobar Arizaga, W. G. (2022). Diseño de un plan de implementación de lean manufacturing, fundamentado en la simulación, para mejorar la producción de perfiles de cartón del centro de conversión. (Master's thesis).
23. Trujillo Lopez, C. A. (2021) Retos y desafíos de la industria automotriz en México. Una visión desde la industria 4.0. Facultad De Economía. Universidad Autónoma Del Estado De México.
24. Vega Anzules, A. (2021). Construcción de modelos de simulación en FlexSim que implementen herramientas Lean Manufacturing en una línea de ensamblaje. Universidad de Valladolid.
25. Yuvaraj, G., Giritharan, K., Koganti, R., Kumar, R.S., & Ramadoss, R. (2019). Lean concepts stream mapping of gear manufacturing, *Int. J. Innovat. Technol. Explor. Eng.*, 8(12S), pp. 2278–3075.
26. Zahraee, S. M., Toloie, A., Abrishami, S. J., Shiwakoti, N., & Stasinopoulos, P. (2020). Lean manufacturing analysis of a Heater industry based on value **ream mapping and computer simulation**. Pro