

Artículo:

Reducción de tiempos en línea de producción mediante la implementación de manufactura esbelta

Reduction of Production Line Time through the Implementation of Lean Manufacturing

Eduardo De-La-Garza-Suárez^{1*}, María Del Carmen Vázquez-Martínez¹, José Javier Treviño-Uribe¹, Luz Oralia Pérez-Charles¹

Revista Interdisciplinaria de Ingeniería Sustentable y Desarrollo Social

Recibido: 10 de junio de 2025
Aceptado: 04 de agosto de 2025
Publicado: 14 de agosto de 2025

Publicación continua editada por el **Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca**

Desv. Lindero Tametate, S/N
Col. La Morita
C.P. 92100
Tantoyuca, Veracruz, México.
Teléfono: 789 8931680, Ext.196.

Correo electrónico:
revistadigital@itsta.edu.mx

Sitio WEB
<https://itsta.edu.mx/revistadigital>

ISSN 2448-8003
Reserva de derechos al uso exclusivo
No. 04-2016-092313253300-203

Editor responsable:
Dr. Horacio Bautista Santos

Copyright: Este artículo es de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

¹ Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Matamoros, México.

* Autor corresponsal: eduardo.delagarza.suarez@hotmail.com

Resumen: Esta investigación aborda la problemática de ineficiencia operativa en una línea de ensamble de asientos automotrices en una empresa manufacturera de H. Matamoros, Tamaulipas, México. El objetivo fue reducir los tiempos de producción mediante la implementación de herramientas de manufactura esbelta, utilizando la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar). En la fase de medición, se identificaron estaciones críticas con tiempos elevados, como inspección final (61.6 s) y prueba test (55.3 s). Mediante análisis de causa raíz (diagrama de Ishikawa y técnica de los cinco porqués), se determinó que las principales causas eran la falta de ergonomía en la manipulación del producto y la desorganización de componentes. Las mejoras implementadas incluyeron un estante giratorio para inspección final y un dispositivo de sujeción organizador con codificación visual para prueba test, junto con un balanceo de línea basado en el takt time. Los resultados mostraron una reducción del 22.4% en el tiempo total del proceso (de 715.9 s a 555.4 s), validada mediante diagramas PERT y Value Stream Mapping. Se concluye que la aplicación estructurada de manufactura esbelta, enfocada en soluciones ergonómicas y organizativas de bajo costo, optimiza significativamente la eficiencia en líneas de ensamble automotriz, demostrando su replicabilidad en contextos similares.

Palabras clave: Manufactura esbelta, Eficiencia operativa, Mejora continua, Balanceo de línea, DMAIC.

Abstract

This research addresses operational inefficiency in an automotive seat assembly line at a manufacturing company in H. Matamoros, Tamaulipas, Mexico. The objective was to reduce production times through the implementation of lean manufacturing tools, using the DMAIC methodology (Define, Measure, Analyze, Improve, Control). Critical stations with prolonged cycle times were identified, such as final inspection (61.6 s) and test (55.3 s). Root cause analysis (Ishikawa diagram and 5 Whys) revealed ergonomic and organizational issues as primary causes. Implemented improvements included a rotating shelf for final inspection and a visual-coded fixture for test stations, alongside line balancing based on takt time. Results showed a 22.4% reduction in total process time (from 715.9 s to 555.4 s), validated through PERT diagrams and Value Stream Mapping. The study concludes that structured lean manufacturing applications, focused on low-cost ergonomic and organizational solutions, significantly enhance efficiency in automotive assembly lines, demonstrating replicability in similar contexts.

Keywords: Lean manufacturing, Operational efficiency, Continuous improvement, Line balancing, DMAIC.

Introducción

La implementación de manufactura esbelta en una empresa metalmecánica en Cartagena, Colombia, permitió mejorar la productividad mediante la optimización de recursos. La aplicación de las 5S liberó un 22% del espacio en el área de trabajo, aunque persistían fallos del 50% en máquinas, requiriéndose rutinas de mantenimiento para reducirlos al 20% (Carrillo Landazábal, Alvis Ruiz, Mendoza Álvarez, & Cohen Padilla, 2019). Estudios demuestran que la manufactura esbelta mejora el desempeño operativo (Pagliosa, Tortorella, & Ferreira, 2019), siendo aplicable también en servicios para eliminar actividades sin valor (Morales Urbina, Galván-Rodríguez, Guzmán-Prince, & Medina-Álvarez, 2021). La combinación de herramientas como DMAIC con tecnologías de Industria 4.0 potencia la eficiencia (Franco-Austria, Benítez-Barrón, & Jiménez-del-Angel, 2023). Las 5S mejoran el bienestar laboral, incrementando la productividad (Senthil Kumar, Akila, Arun, Prabhu, & Selvakumar, 2022), mientras que identificar operaciones sin valor es clave para optimizar procesos (Muñoz-Arcenales, Balón-Ramos, Reyes-Sorian, & Muyulema-

Allaica, 2022). En el sector automotriz, un software en Visual Basic optimizó el balanceo de línea mediante códigos de barras, facilitando la identificación de modelos (Mrabti & Nouri, 2023). Además, la integración de manufactura esbelta con Industria 4.0 mejora el rendimiento operativo más que su aplicación individual (Buer, Semini, Strandhagen, & Sgarbossa, 2021; Ghaithan, Alshammakhi, Mohammed, & Mazher, 2023). Otra investigación destacó que herramientas como mapeo de flujo de valor (VSM), enfoque sistemático para organizar y optimizar el espacio de trabajo (seiri, seiton, seiso, seiketsu, shitsuke)(5S), control estadístico de procesos (SPC) y análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP) redujeron devoluciones en alimentos (Cabrera, Corpus, Maradiegue, & Alvarez Merino, 2020). Finalmente, en una planta italiana, el control estadístico de procesos mejoró la calidad (Bottani, Montanari, Volpi, Tebaldi, & Di Maria, 2021). La manufactura esbelta ha demostrado ser efectiva en la reducción de tiempos improductivos en entornos automotrices, como lo evidencia Ramos-Zuñiga, Alcalá-Salinas, Treviño-Urbe, & Castillo-García (2021), quienes lograron disminuir en un 11% los tiempos de recorrido de materialistas mediante la estandarización de rutas y herramientas como Kanban. Este precedente sustenta la viabilidad de aplicar principios esbeltos en líneas de ensamble, objetivo central del presente estudio.

Materiales y métodos

La presente investigación se llevó a cabo en la línea de ensamble de bases metálicas para asientos automotrices de una empresa ubicada en H. Matamoros, Tamaulipas, México, durante el periodo comprendido entre enero y marzo del año 2025. El estudio tuvo un enfoque mixto (cuantitativo-cualitativo), orientado a incrementar la eficiencia operativa mediante herramientas de manufactura esbelta. La recolección de datos cuantitativos (tiempos de ciclo, gráficas I-MR) se complementó con análisis cualitativos (diagrama de Ishikawa, 5 porqués) para identificar causas raíz de las ineficiencias.

La metodología empleada fue DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), reconocida por su aplicabilidad estructurada en proyectos de mejora continua (Carrim & Gupta, 2024). Cada fase se desarrolló de la siguiente manera:

Definir

Se identificaron como principales problemáticas los tiempos muertos y la variabilidad de los tiempos de ciclo entre estaciones de trabajo. Se estableció como objetivo principal la reducción del tiempo total de ciclo y el balanceo del flujo operativo en la línea de producción. Esta fase estableció el alcance del proyecto y los indicadores clave (KPIs). Se identificaron como problemáticas principales los tiempos muertos (15% del ciclo total) y la variabilidad entre estaciones (Coeficiente de Variación > 25%), documentados mediante diagramas de flujo y entrevistas a operadores. La selección de estos KPIs se basó en su impacto directo en la eficiencia global (Ahmed, 2020).

Medir

Se realizó una toma de tiempos de ciclo en cada operación de la línea de ensamble, mediante observaciones directas a los operadores durante su jornada laboral. Esta medición se llevó a cabo utilizando cronómetros digitales, aplicando un muestreo por conveniencia para abarcar múltiples repeticiones por operación. Esta técnica permitió recopilar información representativa en condiciones reales de producción, optimizando el tiempo de recolección sin afectar el ritmo de trabajo (Franco-austria et al., 2023). A través de un muestreo estratificado de tiempos de ciclo (n = 120 observaciones por estación) usando cronómetros digitales calibrados, siguiendo protocolos de estandarización ISO 9001. Los datos se validaron con gráficas I-MR para asegurar consistencia (Carrim & Gupta, 2024). Esta etapa cuantificó que inspección final (61.6 s) y prueba test (55.3 s) eran las estaciones críticas, superando el takt time objetivo (48 s).

Analizar

Se utilizaron herramientas de análisis de causa raíz como el diagrama de Ishikawa (Medina, Lopez, Meneses, & Quiroz, 2025) y la técnica de los cinco porqués (5 Why's), efectivas para identificar causas subyacentes de las ineficiencias observadas (Taher & Al Bashar, 2024). Para evaluar la estabilidad del proceso, se aplicaron gráficas I-MR (Montgomery, 2020) tanto para la estación de inspección final como de prueba test. Para la estación de inspección final. Estas herramientas permitieron enfocar las acciones correctivas en las áreas con mayor impacto en los tiempos de operación (Carrim & Gupta, 2024).

Mejorar

Con base en los hallazgos obtenidos, se diseñaron e implementaron mejoras específicas en las estaciones de inspección final y prueba test. En la estación de inspección final se incorporó un estante giratorio, con el fin de facilitar el acceso visual y físico del operador a las distintas caras del asiento automotriz. En la estación de prueba test, se diseñó un dispositivo de sujeción organizador de conectores eléctricos, con codificación visual para reducir los tiempos de búsqueda e identificación. Además, se llevó a cabo un balanceo de línea, combinando operaciones estratégicamente y ajustando la carga de trabajo por estación, lo cual fue evaluado mediante la elaboración de un diagrama PERT antes y después de las mejoras (Castillo-Bolaños, Morales-Sebastián, Castillo-Castillo, Esquivel-Rodríguez, & Hernández-Hernández, 2023). El estante giratorio redujo 40% el tiempo de inspección. Codificación visual: Disminuyó errores en prueba test de 12% a 3%.

Controlar

Para garantizar la sostenibilidad de las mejoras implementadas, se establecieron controles visuales en cada estación, estandarización de procedimientos, y formatos de seguimiento periódicos. Estos mecanismos permitieron mantener la estabilidad del sistema y facilitar acciones correctivas ante posibles desviaciones.

De forma complementaria, se aplicó la herramienta Value Stream Mapping (VSM) para representar el flujo actual del proceso y rediseñar el estado futuro ideal. Esta herramienta facilitó la identificación de actividades que no agregaban valor y orientó las decisiones de mejora en el rediseño del flujo de producción (Ahmed, 2020; Socconini, 2021).

La selección de herramientas se fundamentó en su efectividad comprobada en entornos manufactureros, respaldada por investigaciones recientes (Muñoz-arcentales, 2022; Buer et al., 2021; Senthil Kumar et al., 2022).

La fase de Analizar combinó técnicas cuantitativas (gráficas I-MR) con cualitativas (diagrama de Ishikawa, 5 porqués). Esta integración permitió no solo medir las variaciones en los tiempos de ciclo, sino también explorar las razones operativas y humanas detrás de dichas variaciones, en línea con estudios previos (Taher & Al Bashar, 2024; Medina et al., 2025).

Resultados y discusión

La implementación sistemática de la metodología DMAIC, junto con herramientas complementarias de manufactura esbelta, permitió identificar cuellos de botella, ejecutar mejoras específicas y validar su impacto en la línea de ensamble. Los resultados cuantitativos (reducción del 22.4% en tiempo de ciclo) se validaron mediante herramientas estadísticas (I-MR, PERT), mientras que las mejoras implementadas surgieron de perspectivas cualitativas. Esta sinergia metodológica, que combina análisis numéricos con diagnósticos cualitativos, respalda hallazgos similares en estudios de manufactura esbelta (Buer et al., 2021; Senthil Kumar et al., 2022). A continuación, se presentan los hallazgos de cada etapa del análisis.

Diagnóstico inicial mediante toma de tiempos y gráficas I-MR

Como parte de la fase de medición, se recopilaron datos de tiempo de ciclo en cada una de las operaciones de la línea de ensamble. Las estaciones con mayores tiempos fueron inspección final (61.6 s) y prueba test (55.3 s).

Para evaluar la estabilidad del proceso, se emplearon gráficas I-MR. En la estación de inspección final (Figura 1), la gráfica de valor individual mostró una tendencia creciente en los tiempos de inspección final ($LCS = 84.89$ s, $media = 64.33$ s, $LCI = 43.76$ s), indicando que el proceso estaba fuera de control estadístico. Por otro lado, la gráfica de rango móvil (MR) reveló una variabilidad alta ($MR=7.73$), aunque dentro de límites ($LCS = 25.27$), lo que sugiere inconsistencia en los métodos de trabajo. Estas herramientas confirmaron la necesidad de intervenciones ergonómicas y de estandarización. En cambio, la estación de prueba test mostró estabilidad en sus mediciones (Figura 2) manteniéndose en los límites estadísticos ($LCS=62.18$ s, $LCI=48.72$ s), pero con una media elevada (55.45 s). Por otro lado la gráfica (Figura 2) MR ($MR=2.531$) confirmó que la variabilidad entre ciclos es consistente, pero justifica la implementación de mejoras como codificación visual para reducir tiempos (Socconini, 2021).

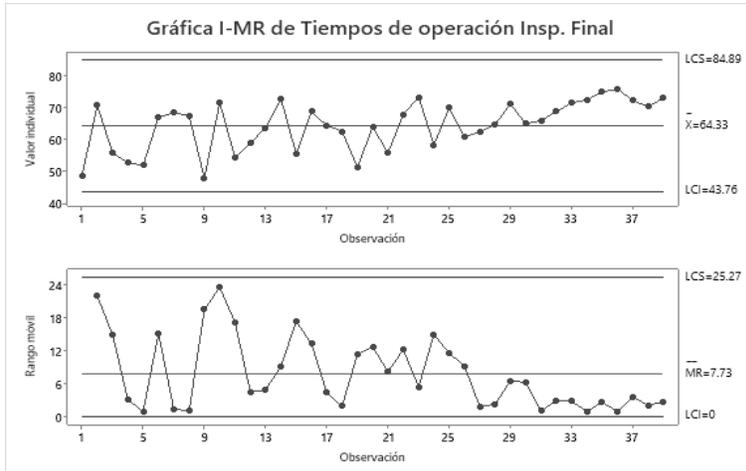


Figura 1 Grafica I-MR de tiempos de operación inspección final.

Fuentes: Los Autores.

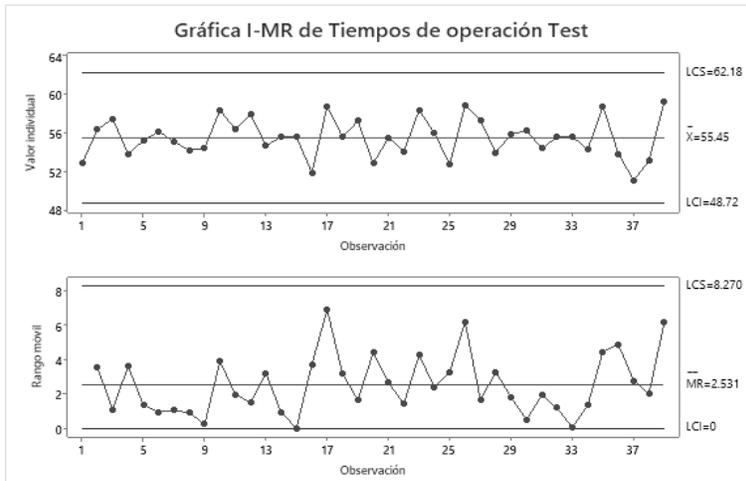


Figura 2 Grafica I-MR de tiempos de operación test.

Fuente: Los Autores.

Análisis de causa raíz: Ishikawa y técnica de los cinco porqués

Mediante el uso del diagrama de Ishikawa, se identificaron múltiples causas potenciales de los tiempos elevados en ambas estaciones críticas. En inspección final, destacaron la ausencia de una herramienta que permitiera girar el asiento y la incomodidad en la manipulación del producto por su peso (Figura 3). En prueba test, se identificó que los cables no estaban rotulados ni organizados, dificultando la conexión rápida durante la prueba (Figura 4).

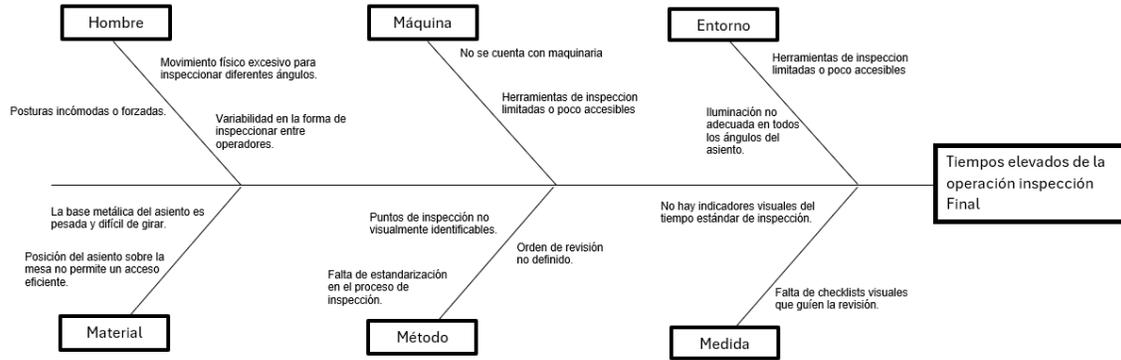


Figura 3 Diagrama Ishikawa para tiempos elevados de la operación de inspección final.

Fuente: Los Autores.

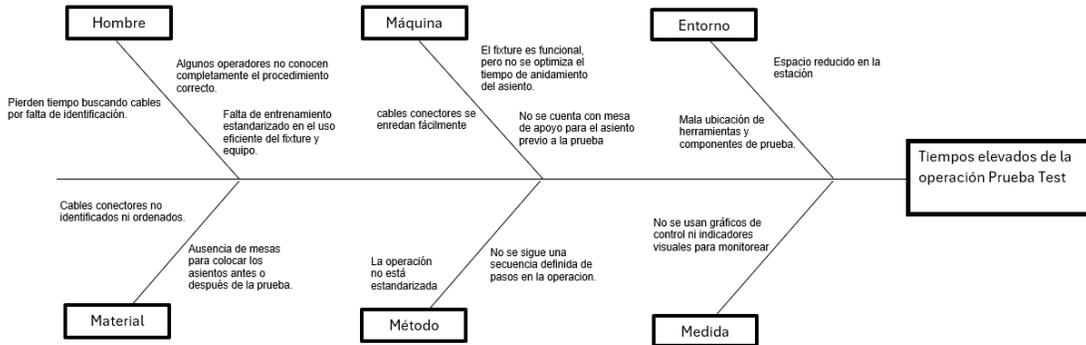


Figura 4 Diagrama Ishikawa para tiempos elevados de la operación prueba test.

Fuente: Los Autores.

El análisis fue profundizado con la técnica de los cinco porqués, identificando como causas raíz:

En inspección final: la falta de un soporte ergonómico que permitiera la rotación del asiento (Tabla 1).

Tabla 1 técnica de 5 porque aplicada a inspección final para determinar causa de tiempos elevados de operación.

Problema: El tiempo de inspección final del asiento automotriz es elevado.

¿Por qué?	Porque el operador tarda mucho en revisar todos los ángulos del asiento.
¿Por qué?	Porque debe girar manualmente el asiento para inspeccionar distintas áreas.
¿Por qué?	Porque el asiento está fijo en una superficie plana que no permite un fácil acceso a todas las caras.
¿Por qué?	Porque no se cuenta con una herramienta o estructura que facilite el giro o rotación del asiento.
¿Por qué?	Porque el área de inspección no está equipada con un soporte ergonómico adecuado que permita agilizar la revisión.

Fuente: Los Autores.

En prueba test: la inexistencia de un sistema de codificación visual para los conectores (Tabla 2).

Tabla 2 técnica de 5 porque aplicada a prueba test para determinar causa de tiempos elevados de operación.

Problema: El tiempo de prueba test del asiento automotriz es elevado.

¿Por qué?	Porque los operadores tardan en encontrar y conectar los cables necesarios para realizar la prueba.
¿Por qué?	Porque los cables conectores no están identificados claramente.
¿Por qué?	Porque no existe un sistema de codificación o rotulación que facilite su identificación rápida.
¿Por qué?	Porque no se había considerado necesario o no se había detectado como causa de pérdida de tiempo durante la operación.
¿Por qué?	Porque no se había realizado un análisis detallado de los tiempos de ciclo ni de las dificultades que enfrentan los operadores en esta estación.

Fuente: Los Autores.

Estos hallazgos coinciden con estudios de Medina et al.(2025) y Taher & Al Bashar (2024), quienes subrayan la importancia de herramientas sencillas pero focalizadas para atacar fallas específicas en procesos manuales.

Implementación de mejoras en estaciones críticas

Como respuesta a los análisis anteriores, se implementaron dos soluciones clave: En inspección final, se diseñó (Figura 5) e integró un estante giratorio que permite al operador rotar el asiento sin esfuerzos físicos excesivos (Figura 6).

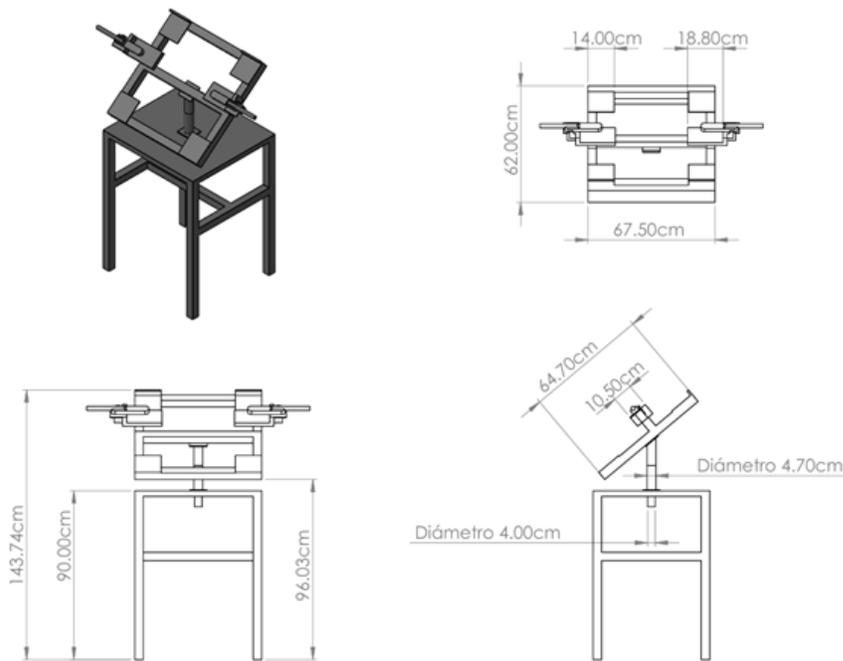


Figura 5 Diseño de estante giratorio con sus respectivas dimensiones.

Fuentes: Los Autores.



Figura 6 Estante giratorio en la operación inspección final.

Fuentes: Los Autores.

En prueba test, se diseñó (Figura 7) e incorporó un dispositivo de sujeción organizador con orificios y códigos visuales que ordenan y facilitan la identificación de conectores (Figura 8).

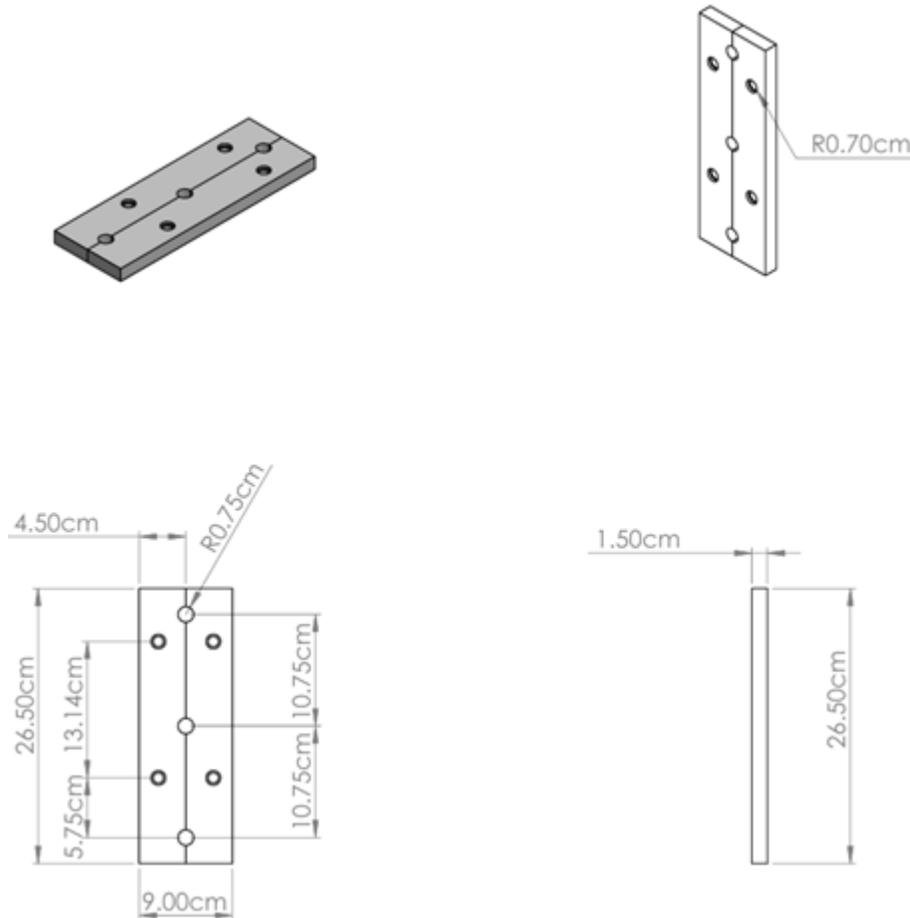


Figura 7 Diseño de dispositivo de sujeción para la clasificación de cableado en estación Test.

Fuentes: Los Autores.

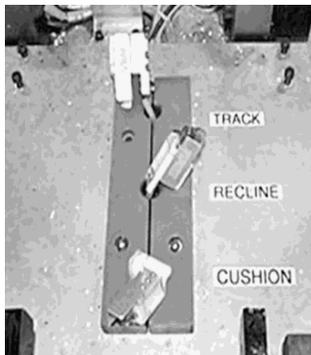


Figura 8 Dispositivo de sujeción de cableado en estación de prueba test

Fuentes: Los Autores.

Estas mejoras no sólo redujeron los tiempos operativos, sino que también mejoraron la ergonomía del trabajo y la fluidez del proceso.

Reconfiguración de la línea mediante balanceo y diagrama PERT

Posterior a las mejoras, se procedió a realizar el balanceo de línea. Con base en el cálculo del takt time (Ahmed, 2020), se combinaron estaciones con tiempos compatibles, según lo mostrado en la Tabla 3. Esta acción permitió optimizar la carga de trabajo y reducir operaciones redundantes (Castillo-Bolaños et al., 2023).

Tabla 3 Operaciones que se combinaron.

Operaciones	Estación combinada
Estación de engrasado	Estación de engrasado y quebrado
Estación de quebrado	
Estación de verificación de esfuerzos	Verificación de esfuerzos y spindle drive
Sub Ensamble de spindle Drive a Tracks	
Ensamble Bushing Bearing al Side Piece	Ensamble Bushing Bearing al Side Piece y bracket spindle
Ensamble Bracket Spindle al Side Piece	
Ensamble de Frame	Ensamble de Frame y Quebradora de Frame
Quebradora de Frame	
Sub Ensamble de rivet al spindle Track Asm	Sub Ensamble de rivet al spindle Track Asm y tuerca spindle track
Sub Ensamble de Tuerca al spindle Track Asm	

Fuentes: Los Autores.

Para validar el impacto de las mejoras, se elaboraron dos diagramas PERT. El primero, previo a las mejoras, reveló un tiempo total de ruta crítica de 715.9 segundos (Figura 9). Tras el balanceo y las modificaciones, este tiempo se redujo a 555.4 segundos (Figura 10), lo que representa una mejora del 22.4% en el tiempo total del proceso.

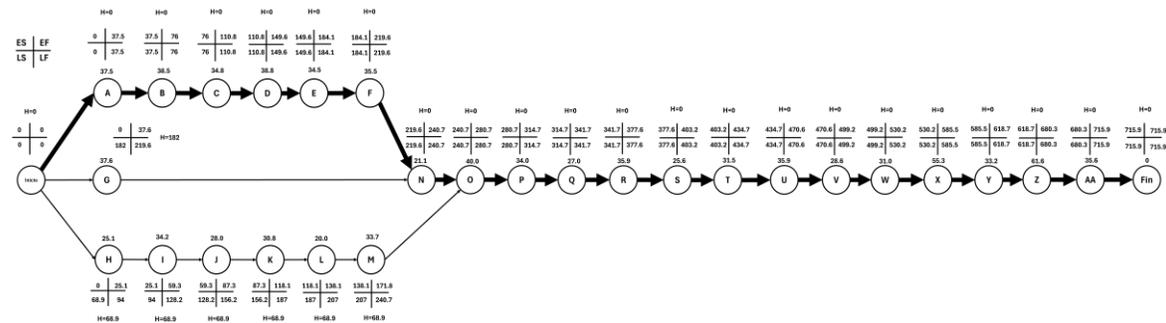


Figura 9 Diagrama PERT actual.

Fuentes: Los Autores.

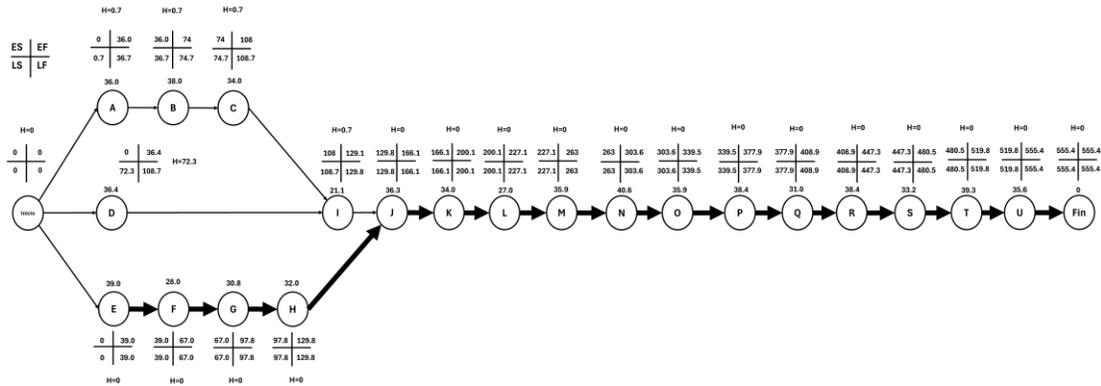


Figura 10 Diagrama PERT después de balanceo de línea.

Fuentes: Los Autores.

Análisis del flujo de valor: Value Stream Mapping

El Value Stream Mapping (VSM) evidenció, en su versión inicial véase la Figura 11, múltiples tiempos de espera y operaciones que no agregaban valor. Posterior a las acciones de mejora, se construyó un nuevo mapa de estado futuro como se observa en la Figura 12, en el cual se identificó un flujo continuo más equilibrado y sin interrupciones innecesarias, permitiendo priorizar acciones de forma sistemática (Socconini, 2021; Carrim & Gupta, 2024).

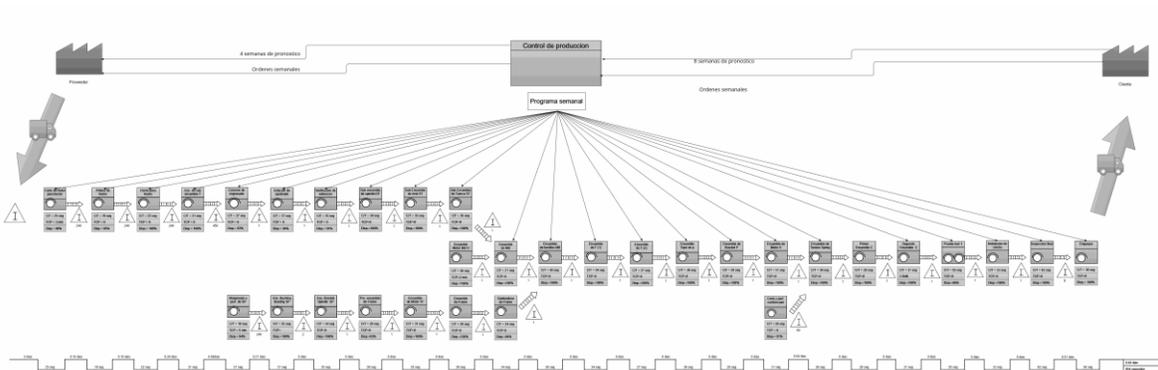


Figura 11 Value stream map actual.

Fuente: Los Autores.

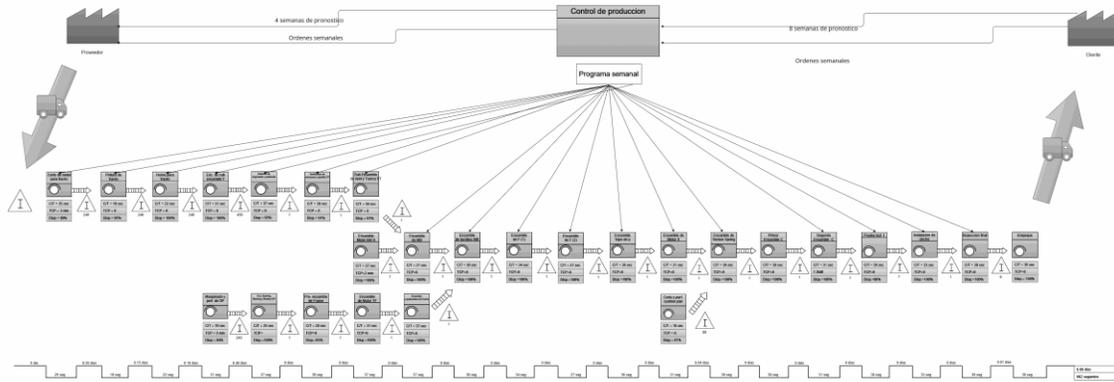


Figura 11 Value stream map futuro.

Fuentes: Los Autores.

Los resultados obtenidos confirman la efectividad de una estrategia integral basada en manufactura esbelta y DMAIC. Las mejoras físicas implementadas aunque simples respondieron directamente a problemas identificados por análisis causa-raíz, lo que generó beneficios inmediatos en productividad y ergonomía.

La combinación de herramientas cuantitativas (I-MR, PERT, VSM) con cualitativas (5W, Ishikawa) permitió una comprensión profunda del proceso y guio acciones precisas. Esta metodología puede ser replicable en otros entornos industriales con características similares, especialmente en líneas de ensamble con operaciones secuenciales y ciclos variables.

Finalmente, la reducción del 22.4% en el tiempo total de proceso demuestra que la optimización interna, sin necesidad de nuevas tecnologías complejas, es alcanzable con disciplina metodológica y enfoque en el valor.

Dichos tiempos de ciclo se pueden observar en la figura 13 mostrando una mejoría al realizar las mejoras en la línea de producción, obteniendo una reducción de tiempos de 160.5 segundos.

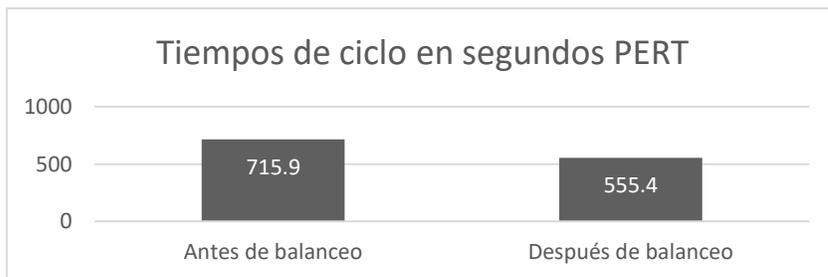


Figura 12 Comparativa de reducción de tiempos de ciclo después de balanceo de línea.

Fuentes: Los Autores.

En comparación con el estudio realizado por Puertas Aragon y Lozada Rivera (2024) donde la implementación de 5S redujo tiempos en 25%. Contrastando los resultados obtenidos durante este estudio los cuales fueron de una reducción del 22.4%, sugiere que factores ambientales pueden limitar las metas iniciales. Casos similares ocurren en sectores no industriales donde se reportan mejoras similares mediante el uso de 5S (Morales et al., 2021).

La eliminación de movimientos innecesarios coincide con estudios previos donde herramientas como diagramas bimanuales redujeron ineficiencias en un 33%(Franco-austria et al., 2023), subrayando la importancia del análisis detallado de métodos.

En cuanto a tecnología y sostenibilidad la introducción del concepto manufactura esbelta 4.0 de Sergeeva et al. (2024) La integración de la robótica y la planificación de recursos empresariales dentro de la filosofía de manufactura esbelta favorece tanto la eficiencia operativa como la sostenibilidad, al disminuir el consumo de energía y la generación de residuos. (p. 1196).

La reducción del 22.4% en el tiempo de ciclo obtenido en este estudio supera el 11% reportado por Ramos-Zuñiga et al. (2021) en rutas de materialistas, lo que sugiere que metodologías estructuradas como DMAIC junto con mejoras ergonómicas pueden tener un impacto más significativo que intervenciones focalizadas en flujos de materiales.

Conclusiones

La presente investigación evidenció que la aplicación estructurada de la metodología DMAIC, en conjunto con herramientas de manufactura esbelta como el diagrama de Ishikawa, el análisis de los cinco porqués, Value Stream Mapping y PERT, permite identificar con precisión las causas raíz de ineficiencias operativas en procesos de ensamble. La integración de mejoras ergonómicas y organizativas directamente en estaciones críticas demostró ser una estrategia efectiva para incrementar la eficiencia del proceso sin necesidad de inversiones tecnológicas complejas, validando la viabilidad práctica de acciones de bajo costo pero alto impacto.

Además, el balanceo de línea fundamentado en el análisis del flujo de valor y el cálculo del takt time contribuyó al logro de una producción más ágil, sincronizada y sostenible.

Este estudio aporta evidencia sobre la aplicabilidad del enfoque esbelto en el sector automotriz maquilador, y refuerza la importancia de un diagnóstico sistemático previo a cualquier intervención operativa. Sus hallazgos son relevantes tanto para la mejora continua en líneas de ensamble, como para la generación de conocimiento práctico replicable en otras industrias de manufactura.

Referencias bibliográficas

- Ahmed, M. (2020). *Takt Time: A Guide to the Very Basic Lean Calculation* (Personal-Lean.Org 2020 (ed.)). Personal-Lean.Org.
- Bottani, E., Montanari, R., Volpi, A., Tebaldi, L., & Maria, G. Di. (2021). Statistical Process Control of assembly lines in a manufacturing plant: Process Capability assessment. *Procedia Computer Science*, 180(2019), 1024–1033.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.353>
- Buer, S.-V., Semini, M., Strandhagen, J. O., & Sgarbossa, F. (2021). The complementary effect of lean manufacturing and digitalisation on operational performance. *International Journal of Production Research*, 59(7), 1976–1992.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1790684>
- Cabrera, J., Corpus, O., Maradiegue, F., & Merino, J. C. A. (2020). Improving quality by implementing Lean Manufacturing, SPC, and HACCP in the food industry: a case study. *South African Journal of Industrial Engineering*, 31(4), 194–207.
<https://doi.org/10.7166/31-4-2363>
- Carrillo Landazábal, M. S., Alvis Ruiz, C. G., Mendoza Álvarez, Y. Y., & Cohen Padilla, H. E. (2019). Lean manufacturing: 5 s y TPM, herramientas de mejora de la calidad. Caso empresa metalmecánica en Cartagena, Colombia. *SIGNOS - Investigación En Sistemas de Gestión*, 11(1), 71–86. <https://doi.org/10.15332/s2145-1389-4934>
- Carrim, M. O., & Gupta, K. (2024). Improving efficiency and productivity of a production line using lean manufacturing and DMAIC. *International Research Journal of Science, Technology, Education, and Management*, 4(No.3), 1–14.
<https://irjstem.com/wp-content/uploads/2024/11/IRJSTEM-V4N3-2024-P01.pdf>
- Castillo-Bolaños, B.-N., Morales-Sebastián, J.-C., Castillo-Castillo, O., Esquivel-Rodríguez, J., & Hernández-Hernández, B.-I. (2023). Propuesta de un nuevo método

- de trabajo y la optimización del tiempo de maquinado de probetas de impacto para la fabricación de tubería de acero Proposal of a new working method and the optimization of the machining time of impact specimens for the manufa. *Revista Interdisciplinaria de Ingeniería Sustentable y Desarrollo Social*, 9(No.1), 89–96. <https://doi.org/10.63728/riisds.v9i1.96>
- Franco-austria, E., Benítez-barrón, E., & Jiménez-del-angel, S. (2023). Herramientas de Ingeniería Industrial para mejorar la eficiencia del área de corte de una imprenta Industrial Engineering tools to improve efficiency in the cutting area of a printing press. *Revista Interdisciplinaria De Ingeniería Sustentable Y Desarrollo Social*, 9(No.1), 302–311. <https://doi.org/10.63728/riisds.v9i1.118>
- Ghaithan, A. M., Alshammakhi, Y., Mohammed, A., & Mazher, K. M. (2023). Integrated Impact of Circular Economy, Industry 4.0, and Lean Manufacturing on Sustainability Performance of Manufacturing Firms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(6), 1–19. <https://doi.org/10.3390/ijerph20065119>
- Medina, J. C., Lopez, N. A. S., Meneses, J. G. de la V., & Quiroz, O. S. (2025). Impacto del mantenimiento industrial, equipo, maquinaria, materia prima, métodos de trabajo y mano de obra en el nivel de Six Sigma en una PYME: Estudio del caso de bloquera Medina en el municipio de San Pedro Cholula, Puebla. *International Journal of Professional Business Review*, 10(2), e05095. <https://doi.org/10.26668/businessreview/2025.v10i2.5095>
- Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to Statistical Quality Control* (Wiley (ed.); 8va ed.). Wiley.
- Morales, R.-E. U., Galván-Rodríguez, D.-G., Guzmán-Prince, I., & Medina-Álvarez, M.-Á. (2021). Manufactura esbelta en una empresa de servicios. *Revista Interdisciplinaria De Ingeniería Sustentable Y Desarrollo Social*, 7(No.1), 142–149.
- Mrabti, A., & Nouri, K. (2023). Smart manufacturing production line connectivity – case study in automotive sector. *ITM Web of Conferences*, 52(01004), 1–10. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20235201004>
- Muñoz-arcentales, J., Balón-Ramos, I., Reyes-Sorian, F., & Muyulema-Allaica, J. (2022). Lean Manufacturing for waste elimination in SMEs : A systematic literature review. *Digital Publisher*, 7(4), 483–495.

- Pagliosa, M., Tortorella, G., & Ferreira, J. C. E. (2019). Industry 4.0 and Lean Manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(3), 543–569. <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2018-0446>
- Puertas Aragon, C. N., & Lozada Rivera, D. E. (2024). Incremento de la productividad en una empresa ganadera láctea de la región Arequipa, Perú, mediante la aplicación de lean manufacturing. *Ingeniería Industrial, 2024: Edición especial*, 35–58. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n.6667>
- Ramos-Zuñiga, U.-E., Alcalá-Salinas, C.-A., Treviño-Urbe, J.-J., & Castillo-García, S.-I. (2021). *Implementación de herramientas de manufactura esbelta para establecer ruta de materialista interna en empresa ensambladora automotriz Implementation of lean manufacturing tools to establish internal materialist route in automotive assembly company*. 7(No.1), 75–84.
- Senthil Kumar, K. M., Akila, K., Arun, K. K., Prabhu, S., & Selvakumar, C. (2022). Implementation of 5S practices in a small scale manufacturing industries. *Materials Today: Proceedings*, 62(4), 1913–1916. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.402>
- Sergeeva, S., Belova, N., Shichiyakh, R., Bobrova, A., Vaslavskaya, I., Bankova, N., Vetrova, E., & Hajiyev, H. (2024). Implementation of Lean Manufacturing Principles and Fast Structured Logic Methods in the Organizational Culture: Addressing Challenges and Maximizing Efficiency. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 19(3), 1195–1201. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.190337>
- Socconini, L. (2021). *Lean Manufacturing Paso a Paso* (Marge Books (ed.); 1a ed.). Marge Books.
- Taher, A., & Al Bashar, M. (2024). The Impact of Lean Manufacturing Concepts on Industrial Processes' Efficiency and Waste Reduction International Journal of Progressive Research in Engineering Management and Science (Ijprems) the Impact of Lean Manufacturing Concepts on Industrial Process. *International Journal of Progressive Research in Engineering Management and Science*, 04(06), 338–349. <https://www.researchgate.net/publication/381250819>