



Mejora del desempeño operativo: implementación de la herramienta heijunka para incrementar la productividad y capacidad de entrega

Operational performance improvement: implementing the heijunka tool to increase productivity and delivery capability

Melhoria do desempenho operacional: implementação da ferramenta heijunka para aumentar a produtividade e a capacidade de entrega

Recebimento: 4/09/2025 - Aceite: 17/09/2025 – Publicação: 27/10/2025

Processo de Avaliação: Double Blind Review – <https://doi.org/10.22567/rep.v14i2.1079>

Héctor David López Merel

hector.lopez114019@potros.itson.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0008-2062-4706>

Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON)

Jorge Guadalupe Mendoza León*

jorge.mendoza@itson.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-9627-8370>

Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON)

Fernando de Almeida Santos

fernando@fernandoasantos.com.br

<https://orcid.org/0000-0002-1716-2802>

Centro Universitário ENIAC

Marco Antonio Hernández Aguirre

mahernandez@itson.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0002-8324-8476>

Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON)

RESUMEN

El presente trabajo se centró en un desafío dentro del sector automotriz, específicamente en la línea de ensamble TCS II de la planta ZF (Friedrichshafen) en México, la cual sufría de una capacidad productiva críticamente baja y un incumplimiento total de las entregas (OTD de 0%) al cliente. Para revertir esta situación, se aplicó la metodología de Manufactura Esbelta (Lean

414



Manufacturing). La piedra angular de la solución fue la implementación estratégica de la herramienta Heijunka, dedicada a la planificación y nivelación de la demanda. Esta estrategia se complementó con el rediseño de la estación de trabajo, el balanceo de línea (incluyendo la duplicación de esta y la contratación de dos operadores) y el uso de One Piece Flow. Los resultados fueron contundentes y transformadores. El indicador OTD se recuperó totalmente, pasando de un 0% a un significativo 100%. La capacidad de producción diaria aumentó masivamente, de 162 a 810 piezas, logrando un incremento del 500% para los productos clave. Asimismo, la eficiencia se disparó: el tiempo de ciclo se redujo de 3.10 a 1.26 minutos, y el tiempo de entrega (Lead Time) cayó drásticamente de 15 días a solo 4 días. Finalmente, la optimización permitió la eliminación de turnos de trabajo en sábado, resultando en un ahorro en costos operativos mensuales de \$36,880 a \$29,400 pesos.

Palabras clave: manufactura esbelta, Heijunka, capacidad productiva, entregas a tiempo, tiempo de entrega

ABSTRACT

This study focused on a challenge within the automotive sector, specifically concerning the TCS II assembly line at the ZF (Friedrichshafen) plant in Mexico. This line suffered from critically low production capacity (initially 31%) and a total failure in on-time deliveries (OTD of 0%). To reverse this situation, the Lean Manufacturing methodology was applied. The cornerstone of the solution was the strategic implementation of the Heijunka tool, dedicated to demand planning and leveling. This strategy was complemented by the redesign of the workstation/layout, line balancing (which included line duplication and the hiring of two additional operators), and the use of One Piece Flow. The results were conclusive and transformative. The OTD indicator was fully recovered, moving from 0% to an impressive 100%. Daily production capacity increased massively, from 162 to 810 pieces, achieving a 500% increase for the key products. Efficiency also soared: the cycle time was reduced from 3.10 minutes to 1.26 minutes (approximately a 60% improvement), and the Lead Time (delivery time) drastically dropped from 15 days to only 4 days.



Finally, this optimization allowed for the elimination of Saturday work shifts, resulting in a saving in monthly operating costs, reduced from \$36,880 to \$29,400 pesos.

Keywords: *lean manufacturing, production capacity, heijunka, on-time delivery (OTD), Lead Time*

RESUMO

O presente trabalho se concentrou em um desafio dentro do setor automotivo, especificamente na linha de conjunto TCS II da planta ZF (Friedrichshafen) no México, o que possuía uma capacidade produtiva criticamente baixa e não cumpria as entregas no prazo, conforme o indicador OTD (On-Time Deliveries) de 0%. Para reverter esta situação, aplicou-se a metodologia Lean Manufacturing. A pedra angular da solução foi a implementação estratégica da ferramenta Heijunka, dedicada ao planejamento e nivelamento da demanda. Esta estratégia foi complementada com o redesenho da estação de trabalho, o equilíbrio da linha (incluindo a duplicação desta e a contratação dos operadores) e o uso do One Piece Flow. Os resultados foram consistentes e transformadores. O indicador OTD se recuperou totalmente, passando de 0% para o significativo 100%. A capacidade de produção diária aumentou massivamente, de 162 para 810 peças, logrando um incremento de 500% para os produtos chave. O tempo de ciclo foi reduzido de 3,10 para 1,26 minutos, e o tempo de entrega (Lead Time) caiu drasticamente de 15 dias para apenas 4 dias. Finalmente, a otimização permitiu a eliminação de turnos de trabalho no sábado, resultando em um acréscimo nos custos operacionais mensais de \$ 36.880 a \$ 29.400 pesos.

Palavras-chave: *lean manufacturing, heijunka, capacidade produtiva, on-time delivery (OTD), tempo de entrega*

1 INTRODUCCIÓN

La presión ejercida por los mercados globalizados y la necesidad inherente de las organizaciones de generar valor para el cliente han posicionado a la Manufactura Esbelta (*Lean Manufacturing* o LM) como una metodología indispensable y una estrategia de gestión fundamental para la supervivencia industrial (Paredes et al., 2025; Granados, 2024; Sánchez-



Baños, 2023; Cho, s.f.). El pensamiento Lean, cuyo origen se remonta al Sistema de Producción Toyota (TPS) desarrollado aproximadamente en 1950, constituye un conjunto de técnicas de fabricación que se aplican de manera sistemática y continua con el fin último de eliminar todo tipo de pérdidas o desperdicios (*muda*), concentrándose en la creación de un flujo eficiente para maximizar el valor entregado (Granados, 2024; Liker, 2004, citado en Laroca et al., 2024; Moraes et al., 2023; Ramos da Silva et al., 2023; Sánchez-Baños, 2023). Este enfoque permite a las empresas "hacer más con menos", cumpliendo al mismo tiempo con los requisitos rigurosos establecidos por el cliente (Galindo, 2019, citado en López Merel, 2025).

La filosofía Lean se cimienta en el principio básico de todo sistema de producción, que es minimizar costos y maximizar utilidades. El sistema TPS, como pionero y máximo exponente, enfatiza la eliminación de actividades que consumen recursos sin añadir valor. Estos desperdicios se clasifican comúnmente en ocho tipos, incluyendo la sobreproducción, los tiempos de espera, el transporte, el movimiento, el inventario, el sobreprocesamiento, los defectos y el talento no utilizado de las personas (Martínez, 2021, citado en Laroca et al., 2024; Tsunoda, 2022, citado en Reyes et al., 2025; Soconini, 2019). Particularmente, el desperdicio generado por el tiempo de espera es una manifestación clara de procesos o secuencias de trabajo ineficientes, un problema endémico en entornos de producción que buscan la mejora continua (Sánchez-Baños, 2023). Es fundamental reconocer que, si bien la aplicación técnica de las herramientas Lean es vital, el éxito de la implementación no es estático y requiere la participación de los empleados en la solución de problemas y la adaptación continua (López Merel, 2025; Maynez-Guaderrama et al., 2024).

El presente estudio se localiza en este contexto de búsqueda de la eficiencia operativa dentro del exigente sector automotriz (Martínez, 2024), una industria donde cada minuto de trabajo impacta directamente las ganancias o las pérdidas económicas (Martínez, 2024; Cho, s.f.). La investigación se llevó a cabo en la planta ZF (Friedrichshafen), situada en la región de Guaymas y Empalme, Sonora, México (con la respectiva autorización para publicar los datos del estudio), una zona reconocida por ser un polo estratégico manufacturero. Esta instalación se dedica a la manufactura de sistemas hidráulicos, tales como frenos, pedales y cilindros maestros, destinados a equipos de uso rudo en aplicaciones de agricultura, minería y marítimas, con clientes



internacionales como CAT, John Deere, y Liu Gong. La empresa, que llegó a Empalme en 2009, se enfoca en lo automotriz siendo expertos en el sistema de frenos. Actualmente, la planta está trabajando en la transferencia de un nuevo producto llamado “Unidad de control válvula ABS” (Figura 1), la cual consiste en un sistema antibloqueo de frenos para remolques que surgió como medida de prevención en Europa y ha mostrado una reducción notoria en el índice de accidentes.

Figura 1. Unidad de control Válvula 400 500 101 0



Fuente: Diseño de planta automotriz Friedrichshafen.

La planta ZF ha enfrentado una problemática operacional crítica en su línea de producción TCS II debido al aumento en la demanda, lo que ha generado una capacidad productiva insuficiente y, consecuentemente, un incumplimiento sistemático en las entregas a tiempo (López Merel, 2025;). Antes de la intervención, la línea presentaba indicadores críticos: una productividad del ochenta y tres por ciento, pero un porcentaje de Entregas a Tiempo (OTD) de cero por ciento, reflejando una capacidad operativa inicial de solo treinta y uno por ciento. La capacidad de la línea se mide comparando el tiempo disponible con el tiempo de ciclo que tarda en terminar una válvula, desde el primer paso hasta el empaque. El estudio se enfoca en la línea de ensamble de los productos 400 500 101 0, 400 850 317 0 y 400 500 104 0, conocidos como “Válvula de alivio” (López Merel, 2025;).

Para subsanar esta deficiencia operativa, la pregunta que guía este trabajo es: ¿La implementación de herramientas Lean permite mejorar indicadores como las entregas a tiempo,



capacidad de producción y la productividad del proceso? Por lo tanto, el objetivo general de este proyecto fue la implementación del enfoque Lean en el proceso de manufactura, utilizando la herramienta Heijunka, para mejorar los indicadores de entregas a tiempo, capacidad y productividad (López Merel, 2025;).

La elección de Heijunka es particularmente relevante, ya que esta herramienta de planificación y nivelación de la demanda, equilibra el volumen total y la mezcla de productos para programar una cantidad y mezcla uniforme diariamente (Esqueda et al., 2024; Boutbagha & Abbadi, 2024; Rewers & Diakun, 2021; Wagner et al., 2017, citado en Herrera-Vidal et al., 2024); ya que funciona como una herramienta de control, variando la carga de trabajo en las operaciones de la empresa y estableciendo un sistema tipo "jalar" (*Pull system*).

La justificación del trabajo radica en el interés por analizar variables de la línea de ensamble para cumplir con los tiempos de entrega y elevar el desempeño productivo, buscando incrementar la capacidad y el OTD (*On Time Delivery*), traducido como el indicador Entregas a Tiempo (Granados, 2024; Paredes et al., 2025; López Merel, 2025). La investigación se llevó a cabo siguiendo las siete fases de implementación del sistema Lean Manufacturing (Socconini, 2019), buscando la mejora sustancial en los indicadores. Es importante destacar que el éxito de tales implementaciones en manufactura depende de un enfoque estratégico y, crucialmente, de la dimensión humana, ya que el compromiso y la participación del personal son determinantes para el éxito de LM (Cho, s.f.; Maynez-Guaderrama et al., 2024; Moraes, 2023).

2 MARCO TEÓRICO

El presente marco teórico establece los cimientos conceptuales y metodológicos de la Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing) y de las herramientas específicas utilizadas para solucionar los problemas de capacidad y cumplimiento de entregas en el proceso productivo objeto de estudio. La estrategia fundamental se basa en la aplicación sistémica de un enfoque que busca maximizar el valor para el cliente mediante la eliminación rigurosa de actividades que no agregan valor, conocidas como desperdicios (Cho, s.f.; Paredes et al., 2025; Socconini, 2019; Womack & Jones, 1996).



2.1 Manufatura Esbelta (Lean Manufacturing) y Principios Fundamentales

La Manufatura Esbelta (ME) es una metodología de gestión derivada del renombrado Sistema de Producción Toyota (TPS), desarrollado históricamente alrededor de 1950 (Cho, s.f.; Paredes et al., 2025; Reyes et al., 2025). El concepto Lean, tal como fue definido por Womack y Jones (1996), establece un sistema que utiliza menos recursos para generar resultados idénticos o superiores a los de los sistemas de producción tradicionales, permitiendo ofrecer una mayor variedad de productos a un menor costo (Marques et al., 2025; Yeni et al., 2025). La esencia del enfoque Lean es lograr la producción esbelta, que implica "hacer más con menos", asegurando al mismo tiempo el cumplimiento de todos los requisitos establecidos por el cliente (Reyes et al., 2025; Womack & Jones, 1996; Yeni et al., 2025).

El propósito de Lean es plantear mejoras en los procesos por medio del estudio de la cadena de costos, y la utilización de herramientas de calidad e indicadores que den un mejor panorama, de esta manera, el concepto de Lean puede resumirse como la aplicación sistemática y habitual de un conjunto de técnicas de fabricación que buscan mejorar los procesos productivos a través de la reducción de todo tipo de “desperdicios” o “mudas”, enfocándose en la creación de flujo para poder entregar el máximo valor para los clientes; de esta manera, el TPS, como modelo fundacional de LM, se basa en dos pilares interconectados que guían la excelencia operacional (Cho, s.f.; Socconini, 2019; Maynez-Guaderrama et al., 2024; Sánchez-Baños, 2023; Womack & Jones, 1996):

A. Just-in-Time (JIT): Enfocado en la producción y en suministrar los componentes necesarios en el momento exacto y en la cantidad requerida, evitando así el exceso de inventario y la sobreproducción.

B. Jidoka: Centrado en la calidad, que se refiere a la automatización con un toque humano, capacitando a los operadores o máquinas para detener la producción de inmediato ante cualquier falla o defecto, garantizando la calidad en el proceso.

Históricamente, el sistema de producción en serie presentaba desafíos como la necesidad de grandes inventarios y tiempos prolongados entre la fabricación y la entrega al consumidor (Cho,



s.f.). En contraste, el TPS, al adoptar la filosofía Lean, se centra en el flujo continuo de las operaciones, buscando de manera sistemática la mejora de los procesos productivos y la maximización de la utilidad al minimizar los costos (Cho, s.f.; Ramos da Silva et al., 2025; Womack & Jones, 1996; Yeni et al., 2025).

2.1.1 La Identificación y Eliminación de Desperdicios (Muda)

La Manufactura Esbelta se define como el proceso sistemático de identificar y eliminar las actividades que no aportan valor al proceso, pero que inevitablemente generan costo y trabajo (Granados, 2024; Laroca et al., 2024; Paredes et al., 2025; Sánchez-Baños, 2023). Estos elementos inútiles son universalmente conocidos por el término japonés "muda" (Cho, s.f.; Sánchez-Baños, 2023; Reyes et al., 2025; Womack & Jones, 1996). Los "desperdicios" son definidos como los procesos o actividades que usan más recursos de lo necesario.

Aunque pueden existir variantes, se identifican varios tipos de "desperdicios" que se observan habitualmente en la producción: tiempo de espera, transporte, exceso de inventario, movimientos innecesarios, defectos y sobreproducción e inventario (Cho, s.f.; Paredes et al., 2025; Tsunoda, 2022, citado en Reyes et al., 2025; Sánchez-Baños, 2023; Womack & Jones, 1996).

- **Tiempo de Espera:** Es el tiempo perdido como resultado de una secuencia de trabajo o un proceso ineficiente. Los procesos mal diseñados pueden provocar que unos operarios permanezcan parados mientras otros están saturados de trabajo.

- **Transporte y Movimientos Innecesarios:** Generan costos sin añadir valor al producto.

- **Exceso de Inventario y Sobreproducción:** El enfoque Lean apunta a que se observe aquello que no se debería estar haciendo porque no agrega valor al cliente, eliminando o mitigando las causas de las pérdidas.

La meta es seguir una metodología que permita la reducción constante de estas *mudas* con el propósito de lograr una fabricación cercana al cero desperdicios (López-Merel, 2025).



2.1.2 La Dimensión Humana y Cultural de Lean

La implementación exitosa de Lean Manufacturing no es meramente una cuestión de aplicación de herramientas técnicas; por el contrario, su base reside en la gestión de los recursos humanos y el cambio cultural dentro de la organización (Cho, s.f.; Máynez-Guaderrama et al., 2024; Moraes et al., 2023; Womack & Jones, 1996).

El pensamiento Lean evoluciona permanentemente como consecuencia del aprendizaje que se va adquiriendo sobre su implementación y adaptación de las diferentes técnicas a los distintos entornos industriales. El sistema de producción Toyota o Pensamiento Esbelto se caracteriza por la participación de los empleados en la solución de los problemas o desperdicios (*Muda*) que surgen en el trabajo cotidiano, teniendo como herramientas el diagrama de flujo de valor, equipos de mejora y la estandarización (Cho, s.f.; Máynez-Guaderrama et al., 2024; Sánchez-Baños, 2022; Vinodh & Arvind; 2013). De esta forma, la Percepción de Apoyo Organizacional (AOP) detona el compromiso y la Participación de los Trabajadores (PT), y estas variables inciden directamente en el uso efectivo de las prácticas Lean, teniendo como meta el crear una cultura de mejora continua y solucionar problemas, con la participación activa de todos (Maynez-Guaderrama et al., 2024).

2.2 Herramientas Clave para la Estandarización y el Flujo

El objetivo del proyecto consiste en mejorar la capacidad y el OTD, lo cual requirió la aplicación de un *set* de herramientas que optimizan el flujo y eliminan la variabilidad:

2.2.1 Diagrama de Flujo de Valor (Value Stream Mapping, VSM)

El VSM es una herramienta visual de Lean Manufacturing indispensable para el diagnóstico, ya que permite ver y entender un proceso e identificar sus desperdicios para desarrollar una ventaja competitiva y evitar fallos. Consiste en dibujar un “mapa” o diagrama de flujo, mostrando cómo los recursos y la información disponible influyen en el proceso, desde que se reciben las materias primas hasta que se entrega el producto terminado al cliente, buscando en todo



momento reducir y eliminar desperdicios (Laroca et al., 2024; Paredes et al., 2025; Sánchez-Baños, 2022; Rewers & Diakun, 2021; Vinodh & Arvind, 2013).

Para la aplicación de esta técnica hay que aclarar conceptos clave:

- Lead Time: Es el tiempo desde que se solicita el pedido hasta que está listo para su embalaje o envío al cliente.

- Tiempo de Ciclo o *Cycle Time*: Es el tiempo promedio para un total de producto en cada proceso.

- Takt Time: Es la frecuencia con la que las unidades han de ser procesadas, guardando una estrecha relación con la “tasa de demanda del cliente”.

- Demanda: Es el número de productos necesarios para cubrir las necesidades del mercado.

El VSM ayuda a identificar las actividades que añaden valor agregado y que el cliente está dispuesto a pagar por ellas, así como aquellas que no agregan valor, pero sí son necesarias para la empresa.

2.2.2 Rediseño de Centros de Trabajo y Flujo

Un buen diseño de un centro de trabajo es fundamental, pues ayuda a eficientar un producto, ya sea en los tiempos de operación, o al tener el material y los componentes al alcance del operario. La presente investigación se fundamenta en información teórica para identificar las características más relevantes en el rediseño de instalaciones de producción, con el fin de disminuir los desperdicios de tiempo y reducir actividades innecesarias.

El Diagrama de Flujo es la representación gráfica de la secuencia de actividades, utilizando símbolos para identificar operaciones, transportes, inspecciones, demoras y almacenamientos, visualizando inconvenientes y oportunidades de mejora.

2.2.3 Inventario de Herramienta y 5S

Mejorar el acomodo y contar con la herramienta necesaria para el ensamble busca eliminar las pérdidas de tiempo en búsquedas (López Merel, 2025;). El inventario por centro de trabajo y un *check list* antes de iniciar el ensamble son esenciales. La metodología 5S es una herramienta



fundamental de la Manufactura Esbelta, especialmente para el mantenimiento continuo (Herrera-Vidal et al., 2024; Paredes et al., 2025; López-Merel, 2025).

2.3 Heijunka: La herramienta de nivelación

El Método Heijunka es un método de planificación y nivelación de la demanda (Boutbagha & Abbadi, 2024; Esqueda et al., 2024; Rewers & Diakun, 2021; Villaseñor, 2007). Socconini (2019) agrega que Heijunka actúa como una herramienta de control, variando la carga de trabajo en las operaciones de la empresa, y logrando beneficios como, por ejemplo, minimizar la sobreproducción, establecer un sistema jalar, y nivelar la producción del sistema.

Krajewski et al. (2013, citado en López Merel, 2025) sostienen que el nivelado es por volumen y mezcla de productos, es decir, la programación se equilibra el volumen total en un periodo de tiempo para que se fabrique la misma cantidad y mezcla de productos diariamente.

Para implementarlo, es preciso utilizar herramientas integradas que permiten un flujo constante y nivelado:

- Flujo continuo pieza por pieza (*One Piece Flow*): Optimiza los inventarios y el flujo del producto de acuerdo al comportamiento real de la demanda.
- Producción ajustada al Takt Time: Metodología que busca sincronizar el ritmo de producción con la demanda del cliente.
- Nivelación de la cantidad de producción: Se busca minimizar la diferencia entre la producción de un periodo y el siguiente.
- Nivelación de la producción por SKU: Una vez nivelada la cantidad total, se nivela la producción de cada referencia.

2.4 Estandarización

La estandarización, a la que llamamos Trabajo Estandarizado, es una pieza clave para poner en orden los sistemas de manufactura. Para Toyota, esto significa tener un patrón de trabajo equilibrado que se mantenga cerca del ritmo de la demanda (Takt time).



Sánchez-Baños (2022) explica que la meta principal de este enfoque es aplicarlo de forma integral para que podamos identificar los problemas y eliminar de raíz los desperdicios (mudas) que surgen constantemente. Esto es especialmente útil para corregir cuando no existe una secuencia de pasos bien definida para realizar las tareas. Si logramos implementar el Trabajo Estandarizado de manera efectiva, el resultado es una reducción importante en los tiempos de producción, una mejor calidad, menos costos y, por ende, cumplimos mejor con lo que el cliente espera. Para que todos sigan el mismo camino, la hoja de trabajo estandarizado debe estar colocada de forma clara y visible en el sitio donde se realiza el trabajo (gemba).

En un contexto similar, el estudio de Rewers y Diakun (2021), centrado en la herramienta Heijunka, confirma que contar con procesos estables es vital: demostraron cómo aplicar la nivelación de la producción en la fabricación de partes estándar que se incluyen en productos finales personalizados, lo cual demuestra que la previsibilidad ayuda a manejar la complejidad de la mezcla de productos.

Adicionalmente, para que el esfuerzo de estandarización realmente funcione, el autor Ashoush (2020) subraya que la colaboración de los trabajadores y la constancia son esenciales. Aunque implementar estos procesos puede ser costoso y tomar tiempo, la participación activa del personal ayuda a que la transición sea fluida y, a la larga, la inversión inicial se recupera gracias a la eficiencia ganada.

3 METODOLOGÍA

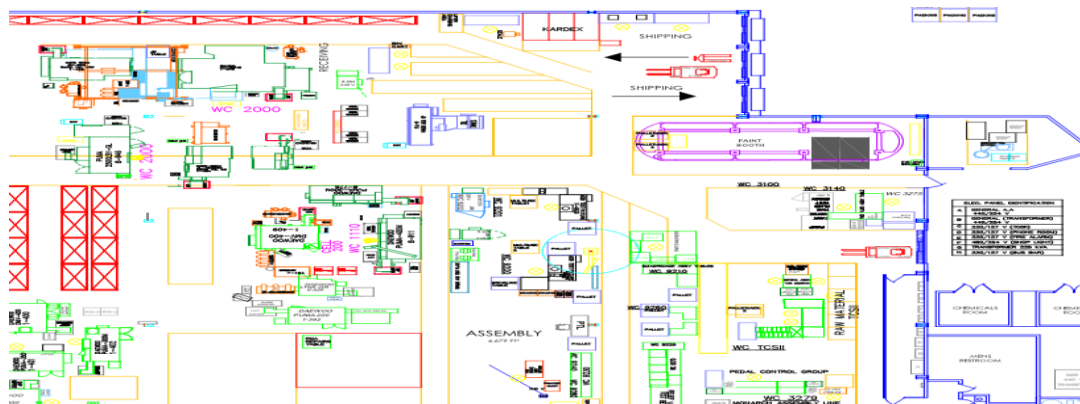
La presente investigación adoptó una metodología de enfoque cuantitativo, basándose en un estudio de caso empírico desarrollado en un entorno industrial real (Paredes et al., 2025; Reyes et al., 2025; López Merel, 2025). El diseño fue predominantemente no experimental y transversal, alineándose conceptualmente con la Investigación-Acción (Herrera-Vidal et al., 2024; Laroca et al., 2024; Rewers & Diakun, 2021). El trabajo se estructuró a través de un proceso de mejora continua bien definido, siguiendo las siete fases de implementación de Lean Manufacturing propuestas por Luis Socconini (2019).



3.1 Sujeito de Estudo y Materiales

El sujeto de estudio fue la línea de producción TCS II en la planta ZF (Friedrichshafen), que cuenta con 20 centros de trabajo equipados con herramientas eléctricas, automáticas y manuales. La línea TCS II se enfoca en el ensamble de válvulas de alivio para equipos de uso rudo, para lo cual se muestra el *layout* línea de producción TCSII actual (Figura 2).

Figura 2. Área de producción planta Friedrichshafen



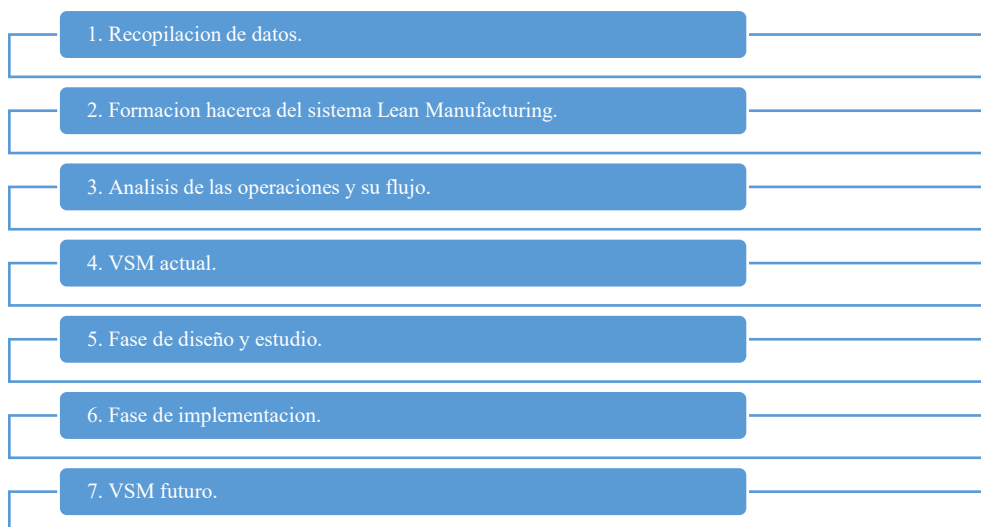
Fuente: Diseño de planta manufacturera Friedrichshafen.

Para la realización del proyecto se utilizaron diversos materiales y herramientas:

1. Herramientas Físicas: Un cronómetro para la toma de tiempos, y un flexómetro para medir y verificar los espacios muertos disponibles.
2. Recursos Digitales y Documentales: Computadora para redactar y analizar, documentación de planta para verificar datos estadísticos y planos, hojas de toma de tiempos, y el software ProgeCAD para el rediseño del centro de trabajo y mejor acomodo.

3.2 Fases del Procedimiento Metodológico

La ejecución de la metodología siguió las siete fases de implementación de Lean Manufacturing (Figura 3):

**Figura 3.** Fases de implementación Lean

Fuente: Adaptado a partir de Socconini (2018)

3.2.1 Fase de Recopilación y Análisis de Datos (Línea Base)

Esta fase buscó un diagnóstico organizacional basado en datos reales. Se enfocó en optimizar el proceso de producción en términos de tiempos y establecer un sistema más eficiente que garantice la puntualidad.

La línea TCS II ensambla tres números de parte, utilizando 4 operadores, con herramientas como torquímetro y llaves, como se ilustra en la Tabla 1.

Tabla 1.

Proceso de ensamble línea TCS II

Proceso	Números de parte	Número de operadores	Centro de trabajo	Herramientas
Ensamble de la válvula de alivio.	400 500 101 0 400 500 104 0 400 850 317 0	4	TCS II	Torquímetro (8-10 Nm) Plumón - Color Gris Plumón - Color Verde Llave de ajuste.

Fuente: elaboración propia.



Asimismo, se realizó una Matriz de Producto / Proceso para comprobar la compatibilidad de los artículos ensamblados en la línea, donde se pueden observar las diferentes tareas que se llevan a cabo (Tabla 2).

Tabla 2.

Matriz Producto Proceso

Nombre del producto	Almacén	Kanban bin	Verificación de válvula y ensamblar con cable (Fase 1)	Ensamblar bracket con ECU (Fase 2)	Ensamblar Fase 1 con Fase 2	Colocar pieza en caja de empaque.	Inspección final y empaque.
400 500 101 0	X	X	X	X	X	X	X
400 500 104 0	X	X	X	X	X	X	X
400 850 317 0	X	X		X		X	X

Fuente: elaboración propia.

Además, se realizó un estudio de tiempos con 30 lecturas por operación y número de parte, utilizando un operador promedio. Los datos recolectados incluyeron el número de parte, tiempo disponible, tiempo de *set up* y tiempo de ciclo, como se muestra en la Tabla 3. Los tiempos de ciclo promedio observados fueron de 3.10 minutos por pieza para los números de parte 400 500 101 0 y 400 500 104 0, y de 1.53 minutos por pieza para el 400 850 317 0.

Tabla 3.

Tiempo del proceso de ensamblaje de las válvulas

Numero de parte	400 500 101 0	400 500 104 0	400 850 317 0
Cantidad de lecturas	30	30	30
Tiempo disponible	8.53 horas	8.53 horas	8.53 horas
Tiempo de Set up	15 min	15 min	15 min
Tiempo de Ciclo	3.10 min	3.10 min	1.53 min

Fuente: elaboración propia.



3.2.2 Análisis de Operaciones y Mapeo del Flujo de Valor (VSM Actual)

El análisis se basó en la determinación de las operaciones en la planta ZF, incluyendo aspectos operativos, calidad y mantenimiento. Se desarrolló el VSM actual para conocer el estado del proceso. En la actualidad, la demanda es muy variable, y una vez que el cliente ingresa su orden, la empresa tiene 5 días para tener el producto terminado, como se observa en la Figura 3, donde el VSM actual arrojó los siguientes resultados: Lead time de producción de 15 días (400 500 101 0) y Tiempo de Procesamiento de 3.10 minutos por pieza.

3.2.3 Fase de Diseño y Estudio (Propuestas de Mejora)

Esta fase incluyó la formación del personal y la decisión de aspectos de la nueva implementación. Se definieron cinco propuestas:

a). Rediseño del Centro de Trabajo. Se trata de una propuesta de instalación de una estructura de perfilería, herramientas automatizadas, e incluso duplicar la línea de ensamble aprovechando el área muerta. El rediseño incluyó la adaptación de un destornillador neumático para agilizar el ensamble de tornillos, así como una estructura metálica de perfil 40"x40", integrado con balancines de cable inoxidable y destornilladores (Figura 4).

Figura 4. Rediseño del centro de trabajo



Fuente: elaboración propia.



b) Metodología Heijunka: Elegida como la herramienta que mejor se adapta al problema. Para nivelar la carga, se tomó el plan de producción para la línea TCS II que se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4.

Plan de producción para la línea TCS II

Plan de producción mensual / semanal							
Numero de parte	Cantidad por semana	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
400 500 101 0	2,560	10,240	10,240	10,240	10,240	10,240	10,240
400 500 104 0	400	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600
400 850 317 0	300	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
Total	3,260						13,040

Fuente: elaboración propia

Una vez establecida la planificación de requerimientos, el siguiente paso es calcular el Takt Time y el Pitch, mediante los cuales se evidencia la falta de capacidad. El análisis de capacidad mostró que para el número de parte 400 500 101 0, el intervalo de Pitch fue de 4.3, lo que demuestra que es necesario trabajar 4.3 turnos para cumplir con la demanda (Tabla 5); lo cual significa que cada 1,530 min/lote se estará enviando una orden de fabricación para producir un lote. Esto quiere decir que necesitamos aumentar nuestra producción para poder cumplir con la demanda del cliente.

Tabla 5.

Análisis del número de parte 400 500 101 0 para determinar el Takt-Time

Tiempo disponible	8.53 horas / 511.8 minutos
Demanda diaria	512 piezas
Tamaño del lote	120 piezas
Tiempo de ciclo	3:10 minutos por pieza
Takt time	$Takt\ time = \frac{Tiempo\ disponible(511.8)}{Demanda\ diaria(512)} = 1\ min\ takt\ time$
Pitch	$Pitch = (1\ min\ Tack\ time)(120\ Lote) = 120\ min/lote$



	$\text{Intervalo de pitch} = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Pitch}} = \frac{511.8}{120} = 4.3$
--	---

Fuente: elaboración propia

c) Balanceo de Línea: Con base en el Pitch determinado, se propuso duplicar la línea y contratar dos operadores más, justificando el costo-beneficio frente al tiempo extra. El plan de producción con la capacidad actual requería hasta 9.5 turnos adicionales para el producto 400 500 101 0. Asimismo, los costos de operación antes de la mejora se muestran en la Tabla y los costos semanales por tiempo extra en la Tabla 6.

Tabla 6.

Costos de operación para el producto 400 500 101 0

Costos					
Número de operadores	Costo de la jornada por operador	Costo por hora doble por operador	Tiempo extra del centro de trabajo TCS II	Presupuesto mensual	Costo real de la línea de producción
4	\$245	\$52	2.27	\$19,600	\$36,880

Fuente: elaboración propia

d) Ensamble *One Piece Flow*: Se diseñó una instrucción de trabajo estandarizada para prevenir el acumulamiento de producto semiterminado.

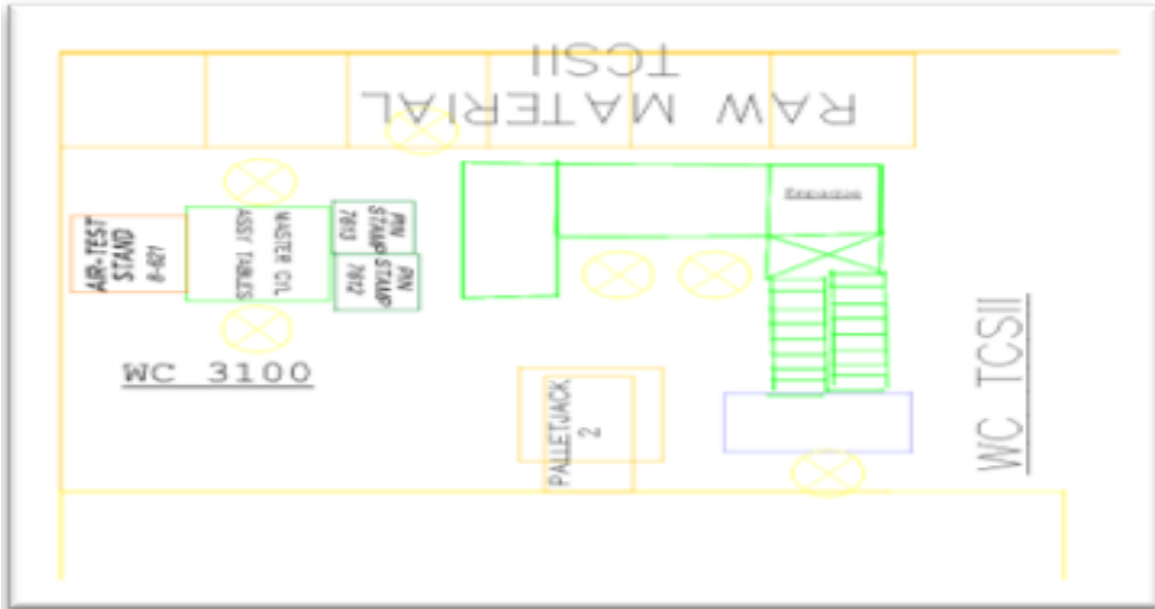
e) Metodología 5's: Se trabajó en un manual de limpieza para el orden y acomodo.

3.2.4 Fase de Implementación y Medición del VSM Futuro

Se implementaron las mejoras, incluyendo el rediseño del *layout*, partiendo del actual (Figura 5) y la correspondiente propuesta de mejora (Figura 6). Así también, se realizaron 30 mediciones adicionales para la obtención de los nuevos tiempos de ciclo; así, la implementación incluyó la mejora en herramientas manuales y el torque eléctrico, como apoyo para facilitar los movimientos de ensamble de la pieza, Para el flujo continuo (*One Piece Flow*), se desarrolló la estandarización del proceso explicado en una instrucción de trabajo (Figura 7).

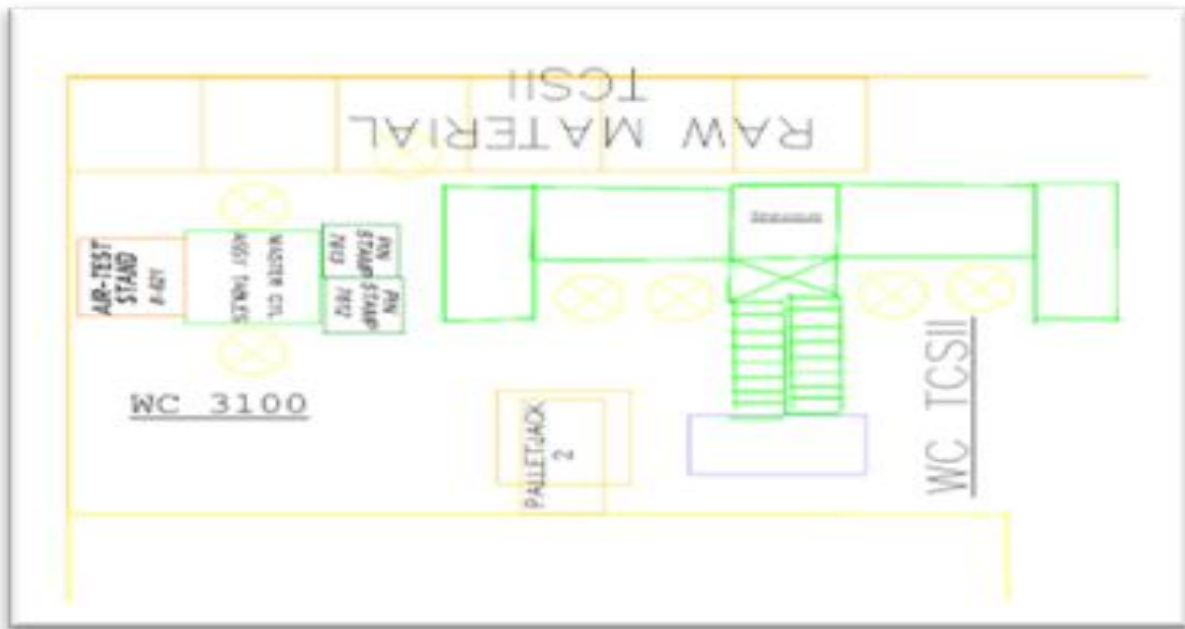


Figura 5. Layout linha de produção TCSII actual



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Layout línea de producción TCSII propuesta de mejora



Fuente: Elaboración propia.



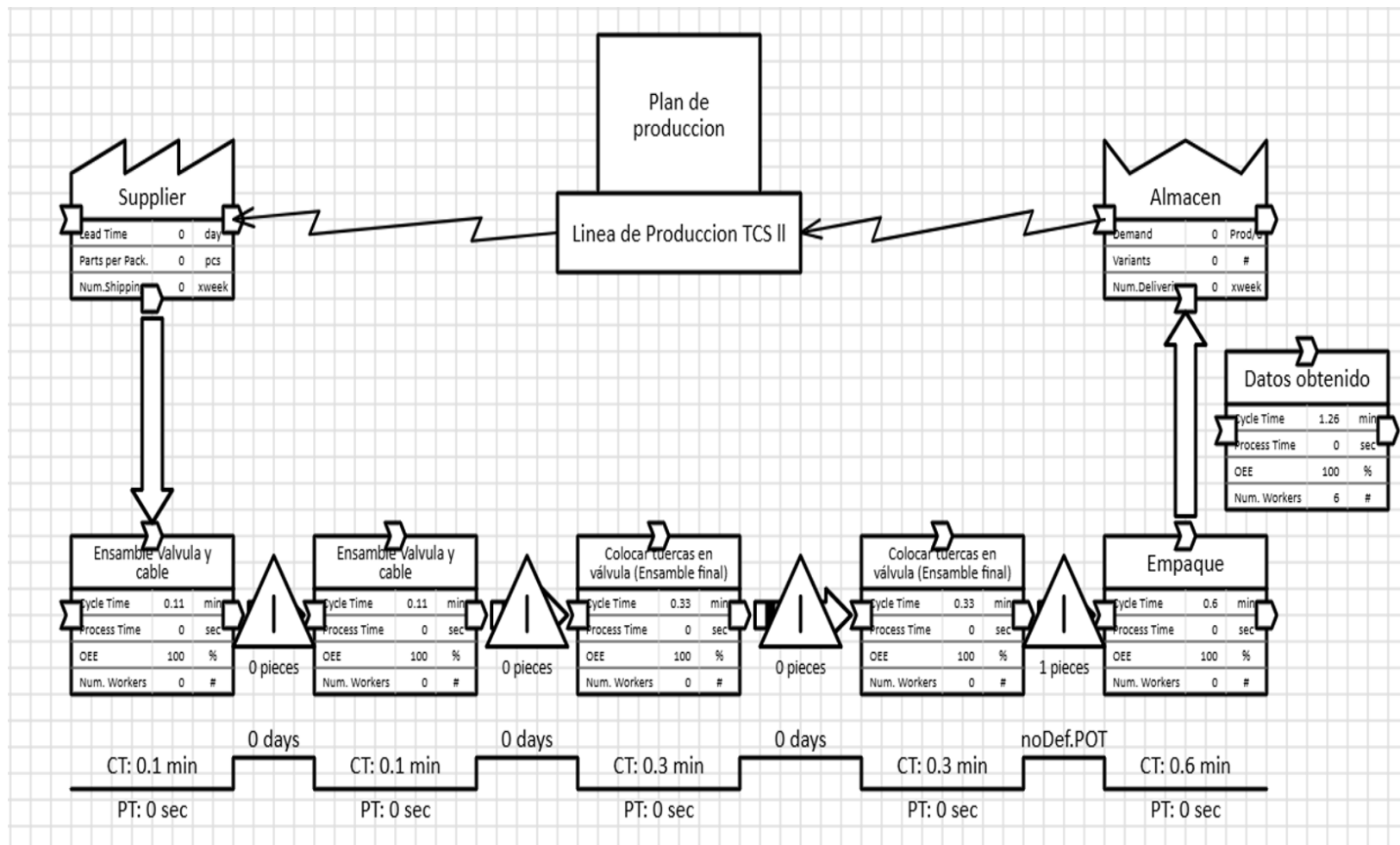
Figura 7. Estandarización del proceso explicado en una instrucción de trabajo

Step	Special Char.	Standardized Work Instruction				PPE Required			
		Work Center-ME5033-100	TCS II ECU/Bracket Assy - Valve Cable Assy	Author	Revision Date	Safety Glasses	Safety Shoes	Gloves	ESD
				Carlos Galaviz	12/3/2024	X	X		
Instruction		Picture		Quality Check					
1		Localiza las alertas de calidad en la estacion			<p>Al inicio del turno, Set up de nuevo numero de parte y Rotacion de personal.</p> <p>Revisa cualquier alerta de Calidad en la estacion. Verifica que has sido entrenado en cada una y que la entiendes, tambien que la fecha es valida todavia con un ✓ en la hoja de auditoria de proceso. Registra un N/A si no hay alertas de Calidad en la estacion.</p>				
2		Verifica que el componente en el area de ensamble son los correctos comparando con la lista de materiales para el numero de parte que estas ensamblando			<p>Al inicio del turno y Set up de nuevo numero de parte</p> <p>Verifica que los componentes que estan en la estacion son los correctos de acuerdo a la lista de materiales.</p> <p>Reaccion: Si alguno de los componentes es incorrecto, devuelvelos a almacen y solicita el componente correcto, notifica al water spider.</p> <p>Al inicio de turno y Set up de nuevo numero de parte, documenta OK/NOK en la hoja de auditoria de proceso para registrar que la inspeccion ha sido entendida y realizada.</p>				
3		Al inicio del turno lleva el torque a la estacion de calibrado, asegura que este dentro del rango (8-10 Nm) y registra los datos.			<p>Inspeccion de inicio de turno</p> <p>Basate en la hoja de auditoria de proceso para registrar 3 valores del torque.</p> <p>No aceptes ni registres valores fuera de lo requerido. Contacta el departamento de Calidad y no sigas con la operacion.</p>				
4		Abre el programa "TCSII Station" en la computadora. Da doble click al icono y cuando abra da click en la opcion "Operator Interface"							
5		Introduce tu nombre de usuario, contraseña y el rol que desempeñaras. Elige el numero de parte a ensamblar de la lista que se despliega en el programa			<p>Inicio de turno y Set up de nuevo numero de parte</p> <p>Al inicio de turno y cuando hagas Set up de nuevo numero de parte, verifica que tienes seleccionado el Numero de parte que vas a ensamblar. Registra en esos intervalos en la hoja de auditoria de proceso que has confirmado esto.</p>				

Fuente: elaboración propia



Figura 8. VSM futuro del proceso de producción TCS II, con una mejora del 60%



Fuente: Elaboración propia.



En cuanto al VSM futuro, el análisis muestra una disminución significativa en los tiempos de ciclo y de entrega (Lead Time), y un flujo mayormente continuo del proceso, siendo posible una disminución significativa en los tiempos de ciclo para los números de partes 400 500 101 0, 400 500 104 0 y 400 850 317 0, que se ejecutan en la línea de producción TCS II, consecuentemente, el tiempo de entrega (Lead Time) resulta menor. Es decir, se redujo el tiempo de ciclo de 3.10 minutos por pieza a 1.26 minutos por pieza, lo cual implica una mejora del 60% aproximadamente, para los productos que se procesan en la línea estudiada (Figura 8)

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La implementación de la metodología Lean Manufacturing, enfocada en la nivelación de la producción mediante la herramienta Heijunka y un conjunto de técnicas complementarias, tuvo un impacto transformador en la línea de ensamble TCS II de la planta ZF (Friedrichshafen). Los resultados demuestran la efectividad de la estrategia en la mejora de la capacidad operativa y el cumplimiento de los compromisos con el cliente, resolviendo la problemática inicial de manera concluyente (López Merel, 2025).

A continuación, se presentan y discuten los resultados cuantitativos obtenidos, comparando la línea base con el estado posterior a la implementación, y reforzando los hallazgos con la literatura académica sobre la aplicación de herramientas Lean en el sector manufacturero.

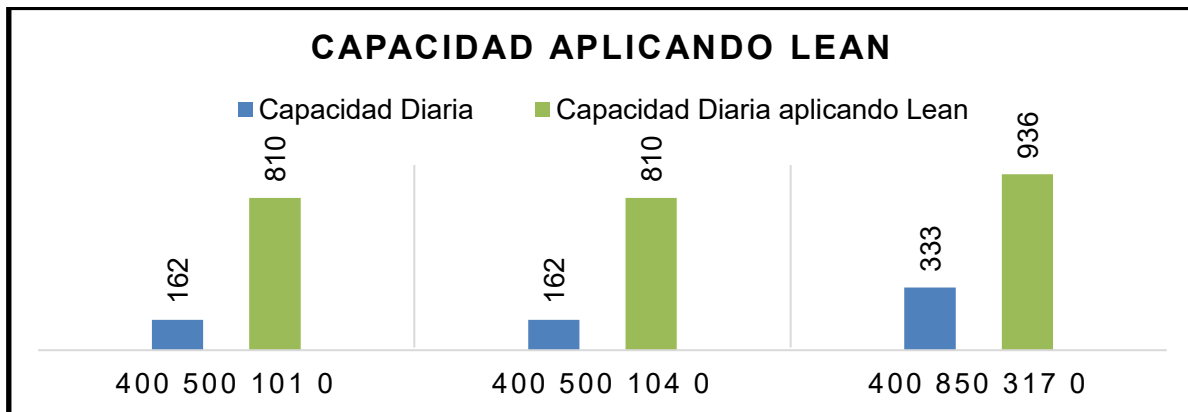
4.1 Transformación en los Indicadores Clave de Desempeño

Los indicadores clave del proceso, antes de la intervención Lean, señalaban un desempeño crítico: la Productividad se ubicaba en un ochenta y tres por ciento (83%), pero el porcentaje de Entregas a Tiempo (OTD) era nulo (0%), reflejando que la capacidad operativa estaba severamente limitada a solo el treinta y uno por ciento. Tras la ejecución de las siete fases de implementación de Lean Manufacturing, la línea TCS II experimentó una mejora radical. El porcentaje de Entregas a Tiempo (OTD) pasó del 0% inicial al 100%. Asimismo, la consecución del 100% en OTD es una manifestación directa de la estabilización del proceso, conllevando a que la capacidad diaria de la



línea aumentara significativamente de 162 piezas a 810 piezas cada día. La evaluación se realiza con base en los datos de capacidad, comparando la línea antes y después de implementar Heijunka, lo cual concuerda con la aportación por parte de Granados (2024) y Yeni et al. (2025) en el sentido de que el enfoque Lean coadyuva a la mejora de los tiempos de entrega (Figura 9).

Figura 9. Capacidad de producción antes y el después de aplicar Heijunka



Fuente: Elaboración propia.

En términos porcentuales, para los números de parte 400 500 101 0 y 400 500 104 0, el aumento de capacidad fue del quinientos por ciento (500%), y para el número de parte 400 850 317 0, la capacidad creció en un doscientos ochenta y uno por ciento (281%) Este aumento de capacidad, que permitió a la planta pasar de una crisis de cumplimiento a una operación totalmente satisfactoria, concuerda con estudios en el sector automotriz donde la aplicación de herramientas Lean logró un aumento de productividad, demostrando la eficacia de la metodología.

4.2 Impacto de la Estandarización y el Rediseño en el Tiempo de Ciclo

El tiempo de ciclo promedio para el ensamble de los números de parte 400 500 101 0 y 400 500 104 0 se redujo de 3.10 minutos a 1.26 minutos por pieza. Para el número de parte 400 850 317 0, el tiempo de ciclo disminuyó de 1:53 minutos a 1:01 minutos. Esta reducción se alcanzó gracias al Trabajo Estandarizado, el ensamble de flujo de una sola pieza (*One Piece Flow*) y el



rediseño físico del centro de trabajo. El rediseño, que incluyó la instalación de un torque neumático y la modificación del *layout*, logró eliminar el movimiento innecesario (*muda*), un desperdicio que no agrega valor. La documentación del flujo pieza por pieza (*One Piece Flow*) es clave para evitar retrasos y desperdicios (Sánchez-Baños, 2023).

4.3 Nivelación de la Demanda y Reducción del Tiempo de Entrega (Lead Time)

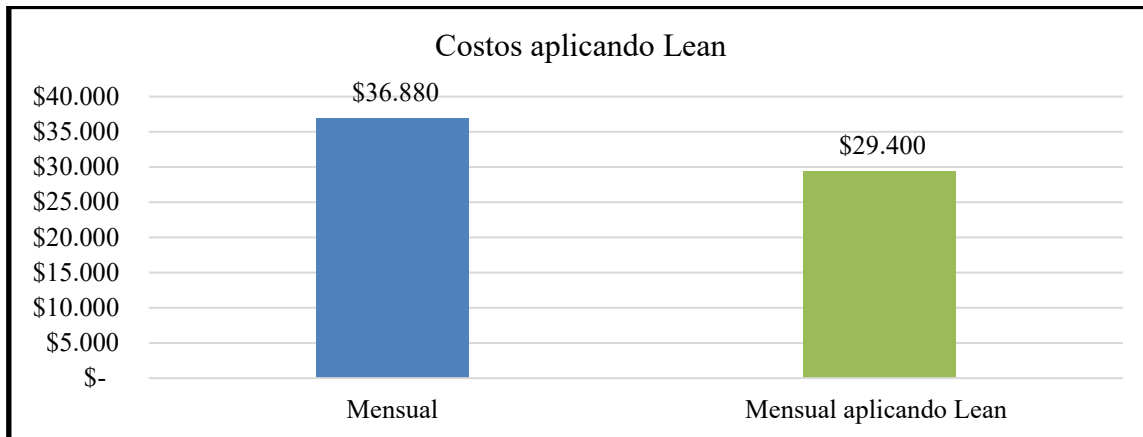
La Metodología Heijunka demostró ser efectiva al nivelar la carga de trabajo, lo que se tradujo en una mejora del flujo general. El Lead Time de producción para el número de parte 400 500 101 0 se redujo de 15 días a solo 4 días. Esta dramática reducción de once días es un resultado directo de la combinación de la alta velocidad del proceso y la nivelación de la producción implementada.

4.4 Optimización de Costos Operativos

Las mejoras en eficiencia se tradujeron en un impacto financiero positivo, ya que los gastos operativos de la línea se optimizaron debido a las mejoras implementadas. Así, el costo mensual de la línea de producción se redujo de \$36,880 pesos a \$29,400 pesos. Este ahorro se derivó de la supresión de los turnos de trabajo del día sábado. La tabla 9 muestra el costo comparativo total de la línea de ensamblaje después de aplicar Lean Manufacturing.



Figura 10. *Ahorro en costos de producción aplicando Lean Manufacturing*



Fuente: Elaboración propia.

4.5 Consistencia de la Aplicación Metodológica

El proyecto se valida al demostrar que la implementación de múltiples herramientas Lean actuó de forma sinérgica: 5S (para la organización), VSM (para el diagnóstico), Balanceo de Línea, Flujo de una Sola Pieza y Heijunka (para la nivelación de la demanda) resultaron en un desempeño superior. Esta estrategia holística alinea los resultados con la recomendación de la literatura de utilizar la combinación de diferentes herramientas Lean para potenciar los resultados (Paredes et al., 2025; Rewers & Diakun, 2021).

5 CONCLUSIONES

El presente estudio se centró en la solución de una crisis operativa crítica caracterizada por la insuficiencia de capacidad productiva y un incumplimiento total de las entregas a tiempo (OTD) en la línea de ensamble TCS II de la planta ZF (Friedrichshafen. La metodología implementada, basada en el enfoque de Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing) con la aplicación estratégica de la herramienta Heijunka y el rediseño del proceso, demostró ser un mecanismo robusto y eficaz para transformar radicalmente los indicadores de desempeño, lo cual coincide con la aportación de Boutbagha & Abbadi (2024) y Esqueda et al. (2024). El objetivo general de implementar Lean



Manufacturing mediante Heijunka para mejorar el OTD, la capacidad y la productividad fue comprobado satisfactoriamente. La eficacia de la intervención se tradujo en una recuperación total del indicador de servicio: el porcentaje de Entregas a Tiempo (OTD) pasó del 0% inicial al 100%. Esta transición de un estado de fallo total a uno de cumplimiento pleno valida la hipótesis central de la investigación, demostrando que existe una conexión directa y favorable entre la adopción de estas herramientas Lean y la mejora integral del proceso productivo, lo cual confirma lo que la literatura académica subraya acerca de la Manufactura Esbelta, como una estrategia esencial para que las empresas compitan eficazmente en un entorno global, buscando la maximización del valor para el cliente a través de la eliminación de desperdicios (Cho, s.f.; Reyes et al., 2025). de esta manera, el éxito en la consecución del 100% de OTD confirma que la estrategia no solo corrigió las deficiencias internas, sino que también alineó el proceso con la demanda del cliente, un principio básico de la producción *Jalar (Pull)*.

Los resultados revelaron un aumento masivo en la capacidad de producción, que fue el problema fundamental identificado en la línea base. La capacidad diaria de la línea de ensamble TCS II aumentó de 162 piezas diarias a 810 piezas cada día. Este aumento representa una ganancia del 500% para los números de parte 400 500 101 0 y 400 500 104 0, y del 281% para el 400 850 317 0. Este logro se debe a la sinergia de diversas intervenciones metodológicas, donde el tiempo de ciclo promedio para los productos clave se redujo de 3.10 minutos a 1.26 minutos por pieza, mediante la eliminación de la “muda” por movimientos innecesarios y el tiempo de espera (Cho, s.f.; Sánchez-Baños, 2022; López Merel, 2025). Complementariamente, el rediseño de la estación y la duplicación de la línea, acompañados por la contratación de dos operadores adicionales, permitieron equilibrar la carga de trabajo y adoptar el flujo continuo pieza por pieza (*One Piece Flow*). La estandarización de estas operaciones mediante instrucciones de trabajo detalladas es crucial, ya que el Trabajo Estandarizado (TE) es el patrón de trabajo equilibrado que permite reducir los tiempos de producción y mejorar la calidad (Ashouh, 2020; Rewers & Diakun, 2021; Sánchez-Baños, 2023).

Por otra parte, la eficiencia micro (reducción del tiempo de ciclo) se tradujo en una eficiencia macro (reducción del *Lead Time*). El Lead Time de producción para el número de parte



400 500 101 0 se redujo de 15 días a solo 4 días. Esta reducción del 73% en el tiempo de entrega total es la prueba más contundente de que la metodología eliminó los cuellos de botella y los grandes acumulamientos de inventario y espera que existían en el proceso. En el contexto de la discusión, es vital entender que la duplicación de la línea (aumentando la capacidad física) y la aplicación simultánea de Heijunka para nivelar la carga de esa nueva capacidad fue la estrategia exitosa para evitar que la eficiencia se perdiera en la variabilidad de la demanda. Asimismo, la eliminación de desperdicios no solo mejoró el rendimiento productivo, sino que también tuvo un impacto directo en la optimización de los costos operativos. El costo mensual de la línea de producción se redujo de \$36,880 pesos a \$29,400 pesos. Este ahorro fue el resultado de la capacidad recién adquirida, que permitió a la planta suprimir los turnos de trabajo del día sábado y, por ende, evitar el pago constante de tiempo extra que se requería para intentar cumplir la demanda anterior. Esta optimización de los recursos financieros y de tiempo se alinea con los objetivos de la Manufactura Esbelta de reducir costos y maximizar utilidades (Cho, s.f.; Herrera-Vidal et al., 2024; Laroca et al., 2024; Paredes et al., 2025; Reyes et al., 2025).

El éxito del proyecto se debe a la aplicación interactiva y sistemática de un conjunto de herramientas Lean. La metodología no solo se enfocó en la solución técnica, sino también en la estandarización y la disciplina; de manera que el modelo implementado no solo optimizó el procedimiento y amplió la capacidad, sino que sentó las bases para el desarrollo continuo, un principio fundamental del Kaizen (Mejora Continua).

Con base en los hallazgos positivos y el impacto favorable en los indicadores de desempeño, se formulan las siguientes recomendaciones para la planta ZF y para futuras líneas de investigación, Lean Manufacturing demostró un impacto positivo y cuantificable en la eficiencia, productividad, capacidad productiva y costos. Se recomienda encarecidamente continuar aplicando esta metodología en las demás líneas de producción de la planta ZF, mediante un plan de mejora continua (Kaizen) que integre sistemáticamente el VSM, el Trabajo Estandarizado y, donde sea aplicable, la nivelación Heijunka en todos los centros de trabajo.

REFERENCIAS



Ashouh, A. H. (2020). El efecto de la estandarización del proceso industrial en la calidad del producto, la competitividad y la utilización de la capacidad. El caso de Coggiola SRL [Tesis de maestría, Politecnico di Torino]. Director de tesis: Luigi Benfratello.

Boutbagha, M., & El Abbadi, L. (2024). Heijunka-levelling customer orders: a systematic literature review. *International Journal of Production Management and Engineering*, 12(1), 31-41. <https://doi.org/10.4995/ijpme.2024.19279>

Cho, F. (s.f.). Toyota Production System. Universidad de Kentucky.

Esqueda Hernández, B. R., Figueroa Fernández, V., Hernández González, S., & Jiménez García, J. A. (2024). Optimización de sistemas transaccionales en logística con enfoque en Heijunka para balanceo de producción. *Pistas Educativas*, 46(147).

Granados, J. (2024). Aplicación de herramientas de Lean Service para la reducción de los tiempos de entrega de documentación de cierre en el servicio de Facility Management [Tesis de pregrado/maestría, Universidad de San Ignacio de Loyola]. <https://hdl.handle.net/20.500.14005/15064>

Herrera-Vidal, G., Coronado-Hernández, JR, Martínez Paredes, BP, Sánchez Ramos, BO y Sierra, DM (2024). Configurador sistemático para la gestión de la complejidad en sistemas de fabricación. *Entropy*, 26 (9), 747. <https://doi.org/10.3390/e26090747>

Laroca, A., Pereira, MT, Silva, FJG y Oliveira, MJGP (2024). Optimización de una línea de producción de tuberías de aire acondicionado para la industria automotriz: un estudio de caso. *Systems*, 12 (2), 42. <https://doi.org/10.3390/systems12020042>

López Merel, H. D. (2025). Mejora del desempeño operativo en planta automotriz: implementación de herramienta Heijunka para incrementar la productividad y capacidad de entrega [Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de Sonora]. Guaymas, Sonora.

Marques, P., Conceição, L., Carvalho, AM y Reis, J. (2025). Impulsando operaciones sostenibles: alineando las prácticas Lean Six Sigma con los objetivos de sostenibilidad. *Sustainability*, 17 (19), 8898. <https://doi.org/10.3390/su17198898>

Martínez, M., Adriana. (2021). Implementación de Lean Manufacturing a través de la reconstrucción de su trayectoria: una experiencia de una empresa de autopartes en México. *Análisis económico*, 36 (93), 99-118. Publicación electrónica 16 de noviembre de 2021. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2021v36n93/martinez>

Máynez-Guaderrama, A., Lopez Torres, V. & Álvarez, A. (2024). La importancia de la gestión de recursos humanos para la manufactura esbelta. *Estudios Gerenciales*, 40, 193-203. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2024.171.6450>



Moraes, A., Carvalho, A.M. y Sampaio, P. (2023). Lean e Industria 4.0: Uma revisão de la relación, sus limitaciones y el camino a seguir con la Industria 5.0. *Machines*, 11 (4), 443. <https://doi.org/10.3390/machines11040443>

Paredes, LA, Conde, FV, Atuncar, CQ, Gómez, OT, López, PR, & Benites, WP (2025). Aplicación de la Metodología Lean en la Gestión Empresarial. *Revista De Gestão - RGSA*, 19 (1), e010910. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v19n1-099>

Ramos da Silva, B. M. S., Nepomuceno de Oliveira, V. A., & Magalhães, J. L. (2023). Análisis del uso de Lean Six Sigma en la producción farmacéutica. *Braz. J. Farmacéutica. Ciencia.* vol. 59. DOI: 10.1590/s2175-97902023e22949

Rewers, P., & Diakun, J. (2021). Estudio heijunka para la producción de piezas estándar incluidas en un producto terminado personalizado. *PLoS ONE*, 16(12), e0260515. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260515>

Reyes, AC, Zubirías, GC, Rodríguez, MAM, Sánchez, FYC y Ortiz, AC (2025). Aplicación de la manufactura esbelta para aumentar la productividad. *International Journal of Professional Business Review*, 10 (3), e05342. <https://doi.org/10.26668/businessreview/2025.v10i3.5342>

Sánchez-Baños, O. (2022, septiembre). Trabajo estandarizado para flexibilizar la producción (IP-03) [Ponencia]. *Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, Sistemas y Electrónica*, 7(7), 1-6. ISSN 2448-7236.

Socconini, L. (2019). *Lean Manufacturing paso a paso* (1a ed.). Marge Books.

Villaseñor, A., & Galindo, E. (2007). *Manual de Lean Manufacturing*. México: Limusa.

Vinodh, S., Somanaathan, M., & Arvind, K. R. (2013). Development of value stream map for achieving leanness in a manufacturing organization. *Journal of Engineering*, 11(2), 129-141. <https://doi.org/10.1108/JEDT-01-2010-0007>

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Pensamiento Lean: Cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa*. Free Press.

Yeni FB, Gürsoy Yılmaz B, Kayhan BM, Özçelik G, Yılmaz ÖF (2025), "Achieving tractable and reliable agriculture supply chain operations through Industry 4.0 tools to support Lean Six Sigma application". *International Journal of Industrial Engineering and Operations Management*, Vol. 7 No. 2 pp. 117–149, doi: <https://doi.org/10.1108/IJIEOM-05-2024-0029>