

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**Mejora del proceso productivo mediante la teoría de restricciones para  
reducir costos operativos en una empresa metalmecánica de Trujillo**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR**

**Karla Tatiana Enriquez Sanchez**

**ASESOR**

**Oscar Kelly Vasquez Gervasi**

<https://orcid.org/0000-0002-3893-0516>

**Chiclayo, 2025**

**Mejora del proceso productivo mediante la teoría de restricciones  
para reducir costos operativos en una empresa metalmecánica de  
Trujillo**

PRESENTADA POR  
**Karla Tatiana Enriquez Sanchez**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

APROBADA POR

Absalon Rivasplata Sanchez  
PRESIDENTE

Rocio Del Carmen Leon Castro De Quispe  
SECRETARIO

Oscar Kelly Vasquez Gervasi  
VOCAL

## **Dedicatoria**

Dedico esta tesis a mi familia, cuya constante motivación ha sido la fuerza que me impulsa a seguir adelante. A mis padres, por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia, y a mis amigos, por su apoyo incondicional y compañía en cada paso de este camino. Esta obra es un reflejo de todos ustedes, y agradezco profundamente su presencia en mi vida.

## **Agradecimientos**

A mi familia, por su incondicional apoyo y confianza durante mi trayectoria universitaria. A mi asesor, Oscar Vasquez Gervasi, por su valiosa orientación y guía en el desarrollo de mi trabajo de investigación. Y a mis amigas y seres queridos, quienes me brindaron su ayuda y comprensión a lo largo de estos años, su apoyo ha sido fundamental en este proceso.

# Mejora del proceso productivo mediante la teoría de restricciones para reducir costos operativos en una empresa metalmecánica de Trujillo

## INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[hdl.handle.net](http://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

6%

2

[tesis.usat.edu.pe](http://tesis.usat.edu.pe)

Fuente de Internet

2%

3

Submitted to Universidad Tecnica De Ambato-  
Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE

Trabajo del estudiante

1%

4

[repositorio.upn.edu.pe](http://repositorio.upn.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

5

[www.coursehero.com](http://www.coursehero.com)

Fuente de Internet

1%

6

[docplayer.es](http://docplayer.es)

Fuente de Internet

<1%

7

[renati.sunedu.gob.pe](http://renati.sunedu.gob.pe)

Fuente de Internet

<1%

## Índice

Resumen .....	6
Abstract .....	7
Introducción .....	8
Revisión de literatura .....	9
Materiales y métodos .....	14
Resultados y discusión .....	15
Conclusiones .....	34
Recomendaciones.....	35
Referencias .....	36
Anexos.....	39

## Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo reducir los costos operativos en el proceso productivo de una empresa metalmecánica de Trujillo; para ello, se identificó como causa principal la baja eficiencia en la fabricación de furgones lisos, debido a que el cuello de botella se encontraba en la etapa de armado, con un tiempo de 5 588 minutos, además de la existencia de 32 224,5 minutos de tiempos muertos, una eficiencia de línea del 27,9%, un 53% de pedidos entregados con retrasos de hasta 11 días y reprocesos que generaban un costo de S/ 21 043,71. Por consiguiente, se aplicó la Teoría de Restricciones mediante el análisis del proceso actual, la identificación de la restricción y la formulación de mejoras enfocadas en optimizar el flujo productivo. Como resultado, se redujeron los costos operativos de S/ 14 310,75 a S/ 9 574,57 (33% menos), mientras que la eficiencia de la línea aumentó en 39% y la producción anual en 71%, lo que permitió fabricar 26 furgones lisos adicionales al año. En conclusión, la propuesta demostró ser viable técnica y económicamente, dado que se obtuvo un índice beneficio–costo de 2,77; evidenciando la rentabilidad de su implementación.

**Palabras clave:** Teoría de restricciones, Costos operativos, Industria metalmecánica, Fabricación de furgón

### **Abstract**

This study aimed to reduce operating costs in the production process of a metalworking company located in Trujillo. The main problem identified was the low efficiency in the manufacturing of smooth cargo bodies, due to a bottleneck in the assembly stage, which required 5 588 minutes per unit; additionally, 32 224,5 minutes of idle time, a line efficiency of 27,9%, 53% of orders delivered with delays of up to 11 days, and rework costs of S/ 21 043,71 were detected. Therefore, the Theory of Constraints was applied through the analysis of the current process, the identification of the main constraint, and the development of improvement actions focused on optimizing production flow. As a result, operating costs were reduced from S/ 14 456 to S/ 8 375 (a 42% decrease), while line efficiency increased by 39% and annual production rose by 71%, resulting in 26 additional smooth cargo bodies per year. In conclusion, the proposal proved to be technically and economically viable, since a benefit–cost ratio of 2,77 was obtained, demonstrating its profitability.

**Keywords:** Theory of constraints, Operating costs, Metalworking industry, Flatbed truck manufacturing.

## Introducción

La mejora de procesos productivos ha ganado importancia a nivel internacional, impulsada por la globalización y la necesidad de competitividad en mercados dinámicos. El sector metalmeccánico, clave en el desarrollo industrial, abarca actividades que transforman materias primas en productos terminados para diversos sectores como la construcción y automotriz. Países líderes en esta industria, como Alemania, China y Estados Unidos, destacan por su innovación tecnológica [1], mientras que en Latinoamérica, naciones como Brasil y México están experimentando un notable crecimiento, aunque enfrentan la competencia de productores asiáticos que operan con costos más bajos [2].

En Perú, la industria metalmeccánica juega un papel fundamental en la economía, con un crecimiento del 2,8% anual entre 2019 y 2023, alcanzando 72 711 empresas en 2023. Lima concentra la mayor parte de estas, seguida por regiones como Arequipa y La Libertad. A pesar de su contribución del 11,2% al PBI manufacturero [3], Tavera señala que el sector enfrenta desafíos, especialmente en pequeñas y microempresas que carecen de capacidad asociativa y enfrentan limitaciones en capital humano, afectando su visión y desarrollo estratégico a largo plazo [4].

En este contexto, la presente investigación se desarrolla en una empresa metalmeccánica ubicada en la ciudad de Trujillo, dedicada a la fabricación de furgones metálicos, cámaras frigoríficas, barandas rebatibles y volquetes. El análisis de sus operaciones recientes es fundamental dada la importancia regional de la industria.

Durante el periodo 2023, en esta empresa, se han identificado sobre costos significativos derivados de la falta de gestión del cuello de botella, una administración ineficiente de los recursos y deficiencias en la planificación y control de la producción. Debido a estas ineficiencias, se requiere una herramienta que permita gestionar la principal limitación del sistema productivo. Por consiguiente, se emplea la Teoría de Restricciones (TOC), la cual se orienta a incrementar el rendimiento global mediante la identificación, explotación y subordinación de la restricción principal del proceso.

Es por ello que se planteó la siguiente pregunta: ¿Cómo mejora el proceso productivo mediante la teoría de restricciones para reducir costos operativos en una empresa metalmeccánica de Trujillo? En síntesis, se definió como objetivo general, el cual es proponer la mejora del proceso productivo mediante la teoría de restricciones para reducir costos operativos en una empresa metalmeccánica de Trujillo. Asimismo, se establecieron como objetivos específicos, diagnosticar el proceso productivo de una empresa metalmeccánica de la ciudad de Trujillo, elaborar la propuesta de mejora mediante la teoría de restricciones y realizar

un análisis costo – beneficio de la propuesta de mejora aplicable al proceso productivo de la empresa metalmeccánica.

La investigación se justifica en el ámbito social y económico, puesto que se orienta a la reducción de los costos operativos de la empresa en estudio, lo cual impacta positivamente en su sostenibilidad. Este sector, según el Ministerio de la Producción (PRODUCE) [5], agrupa alrededor de 74 000 empresas y genera más de 350 000 empleos en el Perú. Mejorar la eficiencia en una organización metalmeccánica implica minimizar tiempos muertos y uso ineficiente de recursos, beneficiando directamente a la empresa y, de manera indirecta, impactando en la economía local al fortalecer el tejido productivo regional.

Además, se considera que el estudio aporta información relevante para académicos y profesionales del sector, fomentando la innovación y el desarrollo competitivo dentro de la industria metalmeccánica. En síntesis, la investigación se sustenta en su capacidad para generar beneficios tanto internos como externos, reforzando la trascendencia de su ejecución.

### **Revisión de literatura**

La presente sección consolida los antecedentes de la investigación mediante una revisión de estudios a nivel internacional y nacional enfocados en la optimización de procesos y la reducción de costos operativos mediante la Teoría de Restricciones (TOC). El análisis de estos trabajos permite identificar la viabilidad y los resultados esperados de la aplicación de la metodología propuesta en el sector metalmeccánico.

Tuñoque, en su estudio [6] enfocado en una empresa de fabricación de vehículos menores, buscó mejorar la productividad. Para esto, se utilizó herramientas como los diagramas de Pareto e Ishikawa, identificando el cuello de botella en el área de soldadura, junto a fallas en control de calidad y mantenimiento. Por lo cual, propuso adquirir nuevas máquinas de soldadura incrementó la productividad en un 5%. Se concluye que la Teoría de Restricciones es eficaz para aumentar la eficiencia y reducir costos en procesos industriales, asimismo, se obtuvo un beneficio/costo de 2,12.

En una línea similar, Cárdenas y Sicche [7], en su investigación, propusieron mejoras para reducir los costos operativos en una empresa metalmeccánica. Utilizaron la teoría de restricciones y herramientas Lean como Kanban, Andon y las 5S. Gracias a su propuesta, se redujeron las pérdidas en el área de producción en un 91,28% y se determinó que la solución era económicamente viable, con una relación beneficio-costo de 1,79. En conclusión, las mejoras optimizaron de manera significativa la producción, demostrando su viabilidad económica y contribuyendo a la reducción de los costos operativos de la empresa.

Mientras que Montoya y Pérez, en su investigación [8], buscaron incrementar la productividad en una línea de producción de calzado en Trujillo mediante la Teoría de Restricciones. Se identificaron cuellos de botella en las operaciones de aparado y armado, implementando mejoras en la distribución de actividades y tiempos estándar. Los resultados mostraron un aumento del 68,94% en la productividad del área de aparado y del 32,82% en armado, con una evaluación económica positiva, destacando un VAN de S/. 24 213,50 y un TIR de 479%.

En un contexto similar, Abisambra y Mantilla [9] se enfocaron en una planta de fundición para reducir inventarios y mejorar el flujo de caja. Identificaron el área de empaque como la restricción principal e implementaron el modelo Drum-Buffer-Rope (DBR), logrando duplicar la capacidad de empaque y mejorar el flujo de caja en \$261 356 106, sin inversiones adicionales.

Por otro lado, Villegas et al. [10], en su investigación, diagnosticaron los procesos actuales de una PyME para identificar oportunidades de mejora a través de la Teoría de Restricciones (TOC). El análisis permitió encontrar la mezcla de productos óptima y mejorar la asignación de recursos, lo que aumentó las utilidades en un 41,98% y la eficiencia operativa en un 13,5%. Estos resultados demostraron que la aplicación de TOC hizo a la empresa más rentable y competitiva.

Más aún, estudios como el de Bazán y Chávez [11], donde se propusieron mejorar el rendimiento y la productividad en la fabricación de muebles de madera utilizando los cinco pasos de la Teoría de Restricciones (TOC). Los resultados mostraron que la implementación de este modelo redujo tanto los tiempos como los costos de producción, logrando un aumento del 6% en la productividad. En conclusión, se logró una mejora significativa en la eficiencia del sector, cumpliendo los objetivos del estudio.

Asimismo, la investigación de Bernabé [12], quien aplicó la Teoría de Restricciones en una empresa marina ecuatoriana, identificando cuellos de botella mediante la herramienta de Pareto. Las mejoras redujeron el tiempo de procesos en el área de esterilizado del 132% al 85% y en preparación y llenado de colles del 119% y 150% a un 85% y 86%, respectivamente. Esto resultó en ahorros de tiempo y un incremento en la competitividad de la empresa.

Es crucial destacar que la literatura valida la solución de la restricción sin depender exclusivamente de inversiones en maquinaria costosa. Bombón, Jordán y Jordán, en su estudio [13] centrado En una empresa textil especializada en ropa interior, se planteó como objetivo mejorar su situación productiva mediante la aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC). Para ello, se desarrolló un modelo que buscaba reducir costos, acelerar las entregas y cumplir con las órdenes de producción. Al identificar que la principal limitación estaba en la falta de

personal, se decidió contratar empleados adicionales en áreas estratégicas, lo que resultó en tiempos de entrega más rápidos y una mayor satisfacción de los clientes. Gracias a la implementación de TOC, la empresa pudo optimizar sus recursos, aumentar sus ingresos mensuales y mejorar su eficiencia operativa.

Mientras que, Quispe [14] abordó la falta de programación interna en el departamento de Manufactura Mecánica, que causaba retrasos en la entrega de productos. Aplicando la Teoría de Restricciones, implementó un rediseño de procesos, capacitación y adquisición de equipo, lo que resultó en una mejora del 25% en los tiempos de producción. El proyecto también demostró viabilidad económica, con una TIR del 49% y un VAN de S/. 55 112,00.

De manera complementaria, Camacho et al. [15] aplicaron la Teoría de Restricciones (TOC) en una empresa ecuatoriana productora de tubos para hornos con un enfoque en la Industria 4.0. Su objetivo fue proponer una mejora en el proceso productivo mediante la integración de la TOC con tecnologías modernas. Como metodología, identificaron cuellos de botella y propusieron soluciones que incluyeron la implementación de una cinta transportadora con un sistema de radiofrecuencia (RFID) para automatizar el transporte de piezas. Los resultados evidenciaron un aumento del 10% en la productividad y la viabilidad económica de la propuesta, concluyendo que la combinación de la TOC con tecnologías de automatización de la Industria 4.0 optimiza significativamente la producción.

Continuando con la necesidad de digitalización, Lin y Lin [16] abordaron la selección de herramientas de ingeniería en el contexto de la Industria 4.0, presentando un marco de evaluación para la compra de software CAD 3D en industrias manufactureras. Utilizando el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), identificaron los factores más críticos para la inversión en esta tecnología, siendo el "Efecto después de la compra" el principal, y la "Performance entre software nuevo y antiguo" la máxima prioridad. Este estudio contribuye al entendimiento de la toma de decisiones estratégicas en la digitalización, al enfocarse en cómo la elección de herramientas de diseño, un pilar de la I4.0, es esencial para la gestión de la I+D y la optimización de los procesos de manufactura.

En este contexto de digitalización, Helo y Hao [17] desarrollaron un sistema de manufactura basado en la Nube (Cloud Manufacturing - CM) aplicado al procesamiento de planchas metálicas. El objetivo fue optimizar la planificación y el control de la producción mediante la integración digital de los procesos, utilizando tecnologías clave de la Industria 4.0 como el Cloud Computing y el Internet de las Cosas (IoT). El modelo propuesto por los autores identificó que esta arquitectura es beneficiosa al virtualizar los recursos de fabricación,

concluyendo que la Manufactura en la Nube promueve la creación de redes de fábricas inteligentes con alta eficiencia.

Finalmente, y en la misma línea de la precisión requerida por la digitalización, Wang et al. [18]resaltaron la importancia de las tecnologías de medición angular de alta precisión en los sistemas modernos de manufactura, como un factor determinante para la fiabilidad del análisis y la toma de decisiones. Destacaron que la calidad de los datos de entrada es crucial, subrayando la necesidad de seleccionar y combinar sensores adecuados para garantizar la precisión y consistencia de la información en entornos de fabricación avanzada.

En el siguiente apartado, se presenta una revisión de las bases teóricas relacionadas con la mejora del proceso productivo y la reducción de costos operativos mediante la teoría de restricciones (TOC).

Fontalvo [19] define el proceso productivo como una secuencia de pasos que transforma los materiales en productos finales o servicios, aumentando su valor. Durante este proceso, los insumos, energía, mano de obra y capital se convierten en productos finales que satisfacen la demanda del mercado. En otro estudio [20], se menciona que un proceso productivo incluye cuatro etapas clave: entrada, transformación, resultado y retroalimentación. La entrada se refiere a los recursos necesarios, mientras que la transformación convierte esos insumos en productos. El resultado es el bien final, y la retroalimentación permite ajustar y mejorar el proceso para maximizar su eficiencia.

Por otro lado, Eleonor [21]describe el costo como el valor de adquisición o producción de un producto, compuesto por tres elementos principales: materia prima, mano de obra y gastos indirectos de producción. Estos costos determinan el valor final del producto y su rentabilidad en el mercado.

Goldratt [22] define la Teoría de Restricciones (TOC) como una metodología de mejora continua que identifica y elimina las limitaciones clave de un sistema para maximizar la productividad y la rentabilidad. Dentro de este enfoque, se utiliza el método Drum-Buffer-Rope (DBR), donde el Drum (tambor) establece el ritmo de producción marcado por la restricción del sistema; el Buffer (buffer) es un inventario de protección que asegura que la restricción siempre tenga trabajo disponible; y el Rope (cuerda) sincroniza el flujo del sistema, regulando el lanzamiento de materiales para evitar sobreproducción. Así, el DBR permite que la restricción trabaje al máximo rendimiento, mejorando el flujo y la eficiencia global del sistema.

Asimismo, el Instituto de Contadores Gerenciales (IMA) [23] menciona que la TOC prioriza la subordinación de todos los recursos a la restricción principal, lo que permite reducir tiempos de producción, mejorar la calidad y optimizar los resultados financieros, desafiando enfoques

tradicionales centrados únicamente en la reducción de costos, resultando en beneficios como reducción de tiempos de producción, mejora de calidad, aumento de rentabilidad y disminución de inventarios.

Además, Bauer, Vargas y Sellitto [24] indican que a diferencia de Lean Manufacturing y Six Sigma, que se enfocan en la eliminación de desperdicios y la reducción de variabilidad respectivamente, TOC se centra en maximizar el throughput gestionando la restricción del sistema. Aunque estas metodologías comparten el objetivo de mejorar procesos, TOC ofrece una ventaja estratégica al desbloquear el potencial del sistema desde su punto más crítico. Como se mencionó la TOC se centra en maximizar el throughput, esta es la velocidad a la cual el sistema genera dinero a través de las ventas. Se define con la siguiente fórmula:

$$T = N(PV - CV)$$

Siendo:

T = Throughput.

N = Cantidad de unidades en un período.

PV= Precio venta del producto.

CV= Costos variable.

De igual manera, Espinoza y Jiménez [25] definen la restricción o cuello de botella como cualquier elemento que impide que una empresa logre sus objetivos, destacando que para empresas con fines de lucro, esto significa maximizar las ganancias sostenibles. De igual manera, Chapman [26] enfatiza que el objetivo de la TOC es aumentar el rendimiento de la empresa mediante un enfoque estructurado en cinco pasos: identificar la restricción, explotarla, subordinar todo a ella, elevarla, y repetir el proceso una vez superada la restricción anterior.

Por otro lado, Cruelles [27] señala que el estudio de tiempos es una técnica que mide el trabajo al registrar y analizar los tiempos necesarios para realizar una tarea, con el objetivo de establecer normas de rendimiento para optimizar el proceso productivo.

Según, Baca [28] el diagrama de operaciones (DOP) es una herramienta visual que muestra la secuencia de operaciones e inspecciones en un proceso, facilitando su análisis y simplificación para mejorar la eficiencia. Asimismo, menciona que el diagrama de análisis de procesos (DAP) ofrece una representación visual de todas las actividades en un proceso, identificando oportunidades de mejora al eliminar actividades que no añaden valor, como el transporte y el almacenamiento. Finalmente, el diagrama de Ishikawa, o diagrama de causa y efecto, es una herramienta que permite identificar las causas raíz de un problema en un proceso, facilitando la búsqueda de soluciones y la mejora continua en distintos tipos de operaciones.

Por último, Nantes [29] menciona que el método cuantitativo de proceso analítico jerárquico (AHP) propuesto por Saaty requiere comparar criterios y alternativas en pares, asignando una ponderación relativa entre ellos. Esto implica evaluar cada elemento contra otro, enfocándose en una sola propiedad a la vez. Se utiliza una escala del 1 al 9 para indicar la preferencia, incluyendo valores intermedios (2, 4, 6, 8) para ajustes entre opciones adyacentes. Los juicios deben ser consistentes, cumpliendo la transitividad (si A es mejor que B y B mejor que C, entonces A es mejor que C) y la proporcionalidad (si A es 2 veces mejor que B y B es 3 veces mejor que C, entonces A debe ser 6 veces mejor que C). El método evalúa la consistencia global de las matrices y acepta un índice de inconsistencia menor o igual a 0.10; si se supera este, es necesario revisar las valoraciones antes de seguir con el proceso de decisión.

### **Materiales y métodos**

Esta investigación fue de tipo aplicada, ya que empleó conocimientos previos para abordar un problema específico: los altos costos operativos en una empresa metalmeccánica de Trujillo. Tuvo un enfoque cuantitativo y un alcance descriptivo, analizando una propuesta de mejora basada en la teoría de restricciones [30]. El diseño fue no experimental, ya que no se manipularon las variables, y se recopiló información directamente del proceso productivo [31].

La población estuvo conformada por las ocho etapas del proceso de fabricación de un furgón liso de 2 toneladas: cortado, doblado, pintado con anticorrosivo, armado, forrado, pintado final, acabado e instalación del sistema eléctrico. La muestra estuvo constituida por las mismas etapas, por lo que se trabajó con una muestra censal al abarcar el 100% del proceso analizado. Este proceso fue seleccionado debido a que los furgones lisos representaron el producto de mayor demanda según el análisis ABC realizado por la empresa, además de presentar problemas operativos como demoras, actividades improductivas y una gestión deficiente de los recursos.

Para diagnosticar el proceso productivo de la empresa metalmeccánica, se utilizaron herramientas como la observación, medición de tiempos, diagramación de procesos y análisis de documentos, lo que permitió identificar actividades, recursos y desperdicios. Basado en los resultados de este diagnóstico, se propuso una mejora basada en la teoría de restricciones para identificar y gestionar la limitación en la línea de fabricación del furgón liso. Por lo que, se sugirió analizar el proceso, optimizar la capacidad de la restricción y eliminar ineficiencias. Asimismo, se propuso implementar herramientas digitales para verificar ángulos y tener los planos digitalizados en la nube. Además, se recomendó subordinando el proceso a la restricción e incorporar un control de calidad previo. Luego, se planteó capacitar al personal en los nuevos procedimientos y se tuvo en cuenta los cuellos de botella flotantes para el paso cinco. Por último, para asegurar la viabilidad de la propuesta, se realizó un análisis costo-beneficio.

## Resultados y discusión

### Diagnosticar el proceso productivo de una empresa metalmeccánica de la ciudad de Trujillo

#### 1. La empresa

La empresa metalmeccánica de referencia fue fundada en diciembre de 1996 y se especializa en la fabricación de carrocerías metálicas, tales como barandas, volquetes, furgones y plataformas, entre otros. La planta de producción está estratégicamente ubicada en la ciudad de Trujillo, en la carretera Panamericana Norte – El Milagro.

#### 2. Descripción del sistema productivo

Para analizar el sistema productivo, se realizó un análisis ABC basado en las ventas del 2023 (anexo 1). Este análisis reveló que el furgón liso/acanalado representa el 44% de la producción total, siendo el furgón liso el que genera mayores ingresos, por lo que se clasifica en la categoría A y seleccionado como objeto de estudio por su aporte a las ventas. La mayoría de estos furgones tiene una capacidad de 2 toneladas.

##### 2.1. Productos

- **Descripción del producto**

Esta carrocería fue diseñada para una larga vida útil incluso en condiciones de trabajo extremas, incluye características útiles como sistema eléctrico, guardafangos y luces delanteras. Sus dimensiones son 5,15 x 1,83 x 1,995 m. En el anexo 2 se puede observar las especificaciones del producto.

- **Desechos y subproductos**

En el proceso de fabricación de un furgón metálico se tienen desechos (anexo 3), los cuales no serán utilizados posteriormente, asimismo, se generan subproductos (anexo 4), estos poseen fallas o desviaciones, sin embargo, arreglándolos pueden ser revendidos con otros fines.

##### 2.2. Materiales del proceso

- **Materiales**

Entre los materiales clave utilizados en el proceso de fabricación se encuentran la plancha galvanizada, tubos cuadrados, masilla, thinner, base de pintura, pintura epóxica, así como componentes como guardafangos y parachoques.

- **Mano de obra**

La organización de la empresa metalmeccánica se encuentra conformada por diferentes áreas como se puede observar en el anexo 5, de las cuales esta investigación se enfocará en el área de producción. Por otro lado, en el anexo 6 se puede observar que la empresa

tiene 17 colaboradores en esta área, asimismo, se puede evidenciar que el personal operativo cuenta con estudios secundarios y técnicos. Asimismo, el supervisor y asistente de supervisor cuenta con título de ingeniería.

- **Maquinaria**

La empresa cuenta con diversas máquinas, herramientas y equipos que optimizan la producción de furgones y otros productos. En el anexo 7 se señalan las más importantes clasificadas por área.

### 2.3. Descripción del proceso

- **Recepción de materiales**

Se recibe y verifica el material necesario para la fabricación de la carrocería metálica. El supervisor controla las cantidades recibidas y asegura que las herramientas y maquinarias estén en condiciones óptimas, siguiendo el plan de mantenimiento preventivo.

- **Cortado**

El operario organiza los materiales y verifica las dimensiones de los planos. Utiliza una wincha y un puntero para marcar las planchas y tubos, y una escuadra para asegurar que los cortes sean precisos. Para realizar los cortes, alinea las marcas con la cuchilla de la máquina y la acciona con un pedal, asegurando que los cortes cumplan las especificaciones del plano.

- **Doblado**

Las piezas cortadas se transportan a la estación de doblado. Se organiza el material y se selecciona la "V" correcta de acuerdo con el espesor de la plancha. El operario ajusta la máquina dobladora y alinea las piezas para aplicar la presión necesaria para doblar según el plano, garantizando que el doblado sea uniforme y preciso.

- **Pintado con anticorrosivo**

Se lija la superficie de los perfiles y planchas, eliminando cualquier residuo de aceite u óxido. El operario aplica un líquido acondicionador de metales y procede a pintar con una mezcla de pintura anticorrosiva y thinner. Si se requiere base epóxica, el tiempo de secado es mayor.

- **Armado**

Los operarios ensamblan las piezas soldadas para formar la estructura del furgón, asegurando la alineación y la escuadra de los marcos laterales, frontal, posterior y de techo. Durante el armado de la plataforma, los largueros se alinean con los puentes, y se

colocan soportes muertos y estructurales. Para asegurar la estructura, se utilizan triángulos de refuerzo (templadores) y cuñas para nivelar la plataforma.

- **Forrado**

- ❖ **Forrado de piso:** Las planchas estriadas se cortan para encajar con los soportes de la carrocería, soldándolas por debajo y encima.
- ❖ **Forrado de techo:** Se aplica sellador poliuretano en el marco del techo y se fija la plancha de aluminio o fibra con tornillos autoperforantes.
- ❖ **Forrado de estructura:** Se colocan las planchas superpuestas y se perforan para fijarlas con remaches pop de aluminio.
- ❖ **Forrado de puertas:** Se garantiza el espacio necesario para el sellado hermético, fijando los marcos con remaches y asegurando la manija y las bisagras.

- **Pintado**

El proceso de pintura incluye esmerilado, lijado y aplicación de masilla y anticorrosivo. Se utilizan 4 galones de pintura, con un porcentaje de desperdicio del 20%. Se pintan el interior y exterior, aplicando base gris y blanca respectivamente.

- **Colocado de accesorios**

Después de pintar, se colocan los accesorios de la carrocería como los guardafangos, defensa lateral, y las puertas. Estos elementos se aseguran mediante soldaduras y pernos, garantizando la fijación adecuada al chasis. El jebe tipo "T" se coloca en las puertas para un sellado hermético, y las bisagras y manijas se fijan con remaches o pernos.

- **Instalación de sistema eléctrico**

El electricista comienza soldando placas pequeñas en los puntos designados para los faros, asegurando la fijación de estos con el voltaje adecuado, que varía entre 12 y 24V, según las especificaciones del furgón. La instalación se realiza con precisión, tomando en cuenta tanto las características eléctricas como las particularidades del vehículo.

## 2.4. Análisis del proceso

La empresa metalmecánica posee un sistema de producción continua que se mantiene en funcionamiento las 12 horas del día por lo que se producen diferentes tipos de carrocerías de manera simultánea y existe una gran demanda de carrocerías.

- **Método de estudio de tiempos**

En el anexo 8 se presentan los tiempos promedio de las operaciones en el proceso de fabricación de un furgón liso de dos toneladas, con un total de 12 339,6 minutos. Considerando este tiempo, se establecerá el número de ciclos necesarios para observar el

proceso; según General Electric Company[32], se sugiere realizar tres ciclos, dado que el tiempo total supera los 40 minutos. En el anexo 9, se muestra una tabla con el tiempo promedio de las actividades, teniendo en cuenta las observaciones realizadas.

- **Diagrama de operaciones del proceso**

En el anexo 10 se puede observar el diagrama de operaciones, en el cual solo se tiene en cuenta las que agregan valor.

- **Diagrama de análisis del proceso**

En el anexo 11 se presenta el diagrama de análisis de procesos, que muestra el ensamblaje general de autopartes a la estructura armada. Este diagrama permite contabilizar las actividades productivas e improductivas en la fabricación de carrocerías metálicas, con lo cual se puede calcular el porcentaje correspondiente a cada tipo de actividad.

**Tabla 1. Resumen de actividades**

Actividades	Cantidad	Porcentaje
Operación	8	40%
Transporte	5	25%
Inspección	2	10%
Demora	1	5%
Almacenamiento	1	5%
Operación – inspección	3	15%
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se encontró el porcentaje de actividades e improductivas teniendo en cuenta los tiempos observados

$$\% \text{ de actividades productivas} = \frac{8 + 2 + 3}{20} \times 100 = 65\%$$

$$\% \text{ de actividades improductivas} = \frac{5 + 1 + 1}{20} \times 100 = 35\%$$

Es así como podemos afirmar que las actividades productivas, es decir, las que agregan valor al producto, representan un 65% y las que no lo son un 35%.

- **Indicadores actuales del proceso**

- Cuello de botella

De acuerdo con el estudio de tiempo realizado se logra apreciar que el cuello de botella se encuentra en el armado del furgón, con un tiempo de 5 588 minutos.

- Eficiencia de la línea

La eficiencia actual es determinada teniendo en cuenta el tiempo total, las estaciones y el tiempo de ciclo (cuello de botella), obteniendo como resultado una eficiencia de 27,9%.

$$\text{Eficiencia de la línea} = \frac{\text{Tiempo total de proceso}}{\text{Tiempo ciclo} * \text{Número de estaciones}} \times 100$$

$$\text{Eficiencia de la línea} = \frac{12\,479,5 \text{ min}}{5\,588 \text{ min} * 8} \times 100 = 27,9\%$$

- Tiempo muerto

El tiempo muerto viene determinado por la resta de la multiplicación del número de estaciones y el cuello de botella menos la suma total de tiempos del proceso.

$$\text{Tiempo muerto} = (\text{Tiempo ciclo} * \text{Número de estaciones}) - \text{Tiempo total de proceso}$$

$$\text{Tiempo muerto} = (8 * 5\,588 \text{ min}) - 12\,479,5 \text{ min} = 32\,224,5 \text{ min}$$

- **Indicadores de producción**

La producción se calcula el tiempo base de producción entre el ciclo del proceso se tuvo en cuenta que en trabajan 12 horas al día, sin embargo, los colaboradores tienen un descanso de 1 hora, por lo cual se tomó como tiempo base 11 horas al día. Se obtiene una producción de 0,118 furgón liso/día.

$$\text{Producción} = \frac{\text{Tiempo base (Tb)}}{\text{Tiempo de ciclo}}$$

$$\text{Producción} = \frac{\left(11 \frac{\text{horas}}{\text{día}} * 60 \frac{\text{minutos}}{\text{horas}}\right)}{5\,588 \frac{\text{minutos}}{\text{furgón liso}}} = 0,118 \text{ furgón liso/día}$$

- **Indicadores logísticos**

- Entrega de pedidos con retraso

Según los datos del anexo 12, la empresa ha enfrentado retrasos en la entrega de pedidos, con un total de 21 casos en 2023, lo que resultó en penalidades por S/12 600. Esto representa el 53% de los pedidos afectados, como se detalla a continuación.

$$\% \text{Pedidos con defectos} = \frac{\text{Total de pedidos con defectos}}{\text{Total de pedidos}} \times 100$$

$$\% \text{Pedidos con retraso} = \frac{21}{40} \times 100 = 53\%$$

## 2.5. Cuadro resumen de los indicadores actuales del proceso

A continuación se muestra el cuadro resumen con los indicadores hallados anteriormente

**Tabla 2. Resumen de indicadores**

<b>Indicador</b>	<b>Valor actual</b>
Producción	0,118 furgón liso/día
Número de estaciones	8
Tiempo de ciclo	5 588 min
Eficiencia de línea	27,9%
Tiempo muerto	32 224,5 min
Actividades productivas	65%
Actividades improductivas	35%
Pedidos con retraso	53%
Promedio de días con retraso	10

Fuente: Elaboración propia

### 3. Identificación de problemas en el sistema de producción y sus causas

#### 3.1. Análisis y evaluación de la información del proceso

La empresa metalmecánica enfrenta problemas significativos en su proceso productivo, que resultan en pérdidas económicas. Los principales inconvenientes identificados son:

- Demoras en la entrega de pedidos

Las demoras en la entrega de pedidos se deben principalmente a la distribución ineficiente de recursos y a la falta de métodos estandarizados en la planta. El proceso de producción incluye ocho operaciones, siendo la etapa de Armado la restricción principal (cuello de botella) del sistema, con una duración crítica de 5 588 minutos. Esta restricción afecta directamente la velocidad de producción (Throughput) y, por ende, los tiempos de entrega. La falta de métodos estandarizados genera, además, variaciones considerables en los tiempos operativos, lo que resulta en un tiempo promedio total de 12 479,7 minutos por furgón liso.

Esta ineficiencia en la distribución de recursos se materializa físicamente en la planta (Anexo 13), donde la congestión y el desorden albergan múltiples desperdicios operativos (búsqueda, movimiento y espera) que magnifican la duración de la operación crítica de Armado (5 588 minutos). En consecuencia, esta combinación de restricción y desperdicios es la causa raíz de las demoras y de los sobrecostos asociados a la baja productividad.

- Reprocesos

Se han identificado problemas de precisión y ajuste en las piezas durante las etapas previas al ensamblaje, lo que ocasiona la necesidad de reprocesos que aumentan los tiempos de producción. La ausencia de un control de calidad impide la detección temprana de errores, afectando la eficiencia. Además, la limitada capacitación de la mano de obra agrava los problemas de calidad y eficiencia, como se refleja en las

quejas de los clientes por defectos en los productos y uso de la garantía como se puede evidenciar en el anexo 14.

A continuación se presenta una tabla resumen con las pérdidas económicas de las causas anteriormente mencionadas.

**Tabla 3. Pérdidas económicas**

<b>Causa</b>	<b>Pérdida económica</b>
Penalizaciones por demora en pedidos	S/ 12 600
Pedidos reprocesados	S/ 1 710,75
<b>Total</b>	<b>S/ 13 310,75</b>

**Fuente:** Elaboración propia

Para analizar el proceso de fabricación de los furgones lisos de dos toneladas, se empleó un diagrama de Ishikawa (anexo 15) con el objetivo de identificar las causas principales del problema. Asimismo, identificar cuáles causas inciden dentro de la empresa metalmecánica, se utilizó una matriz de enfrentamiento y un diagrama de Pareto. Por lo que, primero se evaluó el impacto relativo de cada subcausa, utilizando una escala de impacto que permitió priorizar aquellas de mayor relevancia.

**Tabla 4. Matriz de enfrentamiento**

<b>Subcausas</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>Total</b>	<b>Porcentaje</b>
C1: Carencia de procesos estandarizado	0	3	3	1	7	17,5%
C2: Falta de control de calidad previo al armado	5	0	5	1	11	22,5%
C3: Distribución ineficiente de recursos	5	3	0	5	13	27,5%
C4: Mano de obra no capacitada	3	5	1	0	9	32,5%
<b>Total</b>					<b>40</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Elaboración propia

Los resultados mostraron que la distribución ineficiente de recursos y la falta de control de calidad previo al armado son los principales problemas para resolver, ya que tienen un puntaje de 13 y 11 respectivamente. Por otro lado, para realizar el diagrama Pareto se usaron los porcentajes obtenidos en la matriz de enfrentamiento y se ordenó de descendente, como se puede observar en la siguiente tabla

**Tabla 5. Porcentajes de subcausas**

<b>Subcausas</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Porcentaje acumulado</b>
C3: Distribución ineficiente de recursos	32,5%	32,5%
C2: Falta de control de calidad previo al armado	27,5%	60,0%
C4: Mano de obra no capacitada	22,5%	82,5%
C1: Carencia de procesos estandarizado	17,5%	100,0%

**Fuente:** Elaboración propia

Posteriormente, se realizó el diagrama de Pareto, el cual se puede observar en el anexo 16, donde se evidencia que estas causas representan un 60% del impacto total en las causas identificadas. Asimismo, se presenta una matriz de operacionalización en el anexo

17 que muestra la variable independiente (proceso productivo) y la dependiente (costos operativos), junto con sus dimensiones, indicadores y los métodos de medición utilizados.

#### Elaborar la propuesta de mejora mediante la teoría de restricciones

Tras identificar el problema en la empresa metalmecánica y sus causas, se evaluaron diversas metodologías para resolverlo mediante una matriz AHP. Las metodologías consideradas fueron Lean Manufacturing, Six Sigma y Teoría de Restricciones (TOC), mientras que los criterios evaluados fueron: reducción de defectos, optimización del flujo, estandarización de procesos, implementación y costos, y el impacto en el cuello de botella. Como se detalla en el anexo 18, los criterios con mayores valores fueron el impacto en el cuello de botella, implementación y costos y optimización del flujo.

Para verificar la coherencia de las comparaciones, se calculó el índice de consistencia multiplicando la matriz base por la de valores ponderados, obteniendo un índice de consistencia de 0,092, menor a 0,1, lo que indica una consistencia razonable en los juicios realizados. Las matrices de comparación de opciones por criterio permitieron calcular los pesos relativos de cada herramienta y sintetizar las puntuaciones finales, esto se puede evidenciar en el anexo 19

Asimismo, se comparó las opciones por cada criterio como se ve en el anexo 20, y por último. el análisis AHP concluyó que la Teoría de Restricciones (TOC) es la metodología más adecuada para la empresa, como se puede observar en el anexo 21. Su enfoque en optimizar el cuello de botella, que limita el ritmo de producción, la convierte en la opción más eficiente. Aunque Lean Manufacturing y Six Sigma destacan en reducción de desperdicios y mejora de la calidad, respectivamente, TOC aborda de manera más efectiva los problemas de flujo y sobrecostos, siendo la solución más alineada con las necesidades actuales de la empresa.

Obtenido este resultado, se procederá a elaborar una propuesta basada en la Teoría de Restricciones (TOC) para optimizar el proceso productivo de la empresa. Como primer paso, se implementará el modelo Drum-Buffer-Rope (DBR), esto asegura que la etapa que representa el cuello de botella trabaje a su máximo rendimiento y nunca deje de trabajar, esta etapa actuará como el tambor, ya que marca el ritmo de la producción.

En el proceso productivo de fabricación de furgones en la empresa metalmecánica, se ha identificado que la etapa de armado, con un tiempo de ciclo de 5 588 minutos por unidad, constituye el cuello de botella del sistema y, por lo tanto, se establece como el tambor de la producción.

Para evitar interrupciones en esta etapa crítica, se ha definido un buffer de 6 469,4 minutos, correspondiente a la suma de los tiempos de la etapa de pintado 1 (881,4 minutos) y armado (5

588 minutos). Este buffer asegura que, en caso de retrasos en etapas anteriores, la estación de armado siempre tenga material para procesar y el flujo no se detenga.

Por último, el rope o cuerda se establece en función al tiempo de ciclo antes del cuello de botella, el cual es de 2 864,9 minutos/unidad, y el tiempo del amortiguador, teniendo un tiempo total de 9 334,3 minutos para regular el flujo de piezas hacia la etapa de armado, evitando que lleguen antes de lo necesario y asegurando que el proceso sea eficiente y controlado.

Por otro lado, se va a determinar el Throughput que se tiene actualmente en la empresa, esto se halla con la producción, se tomará en el período de un día, el precio de venta y costo de materiales.

$$\text{Throughput} = N(\text{PV} - \text{CV})$$

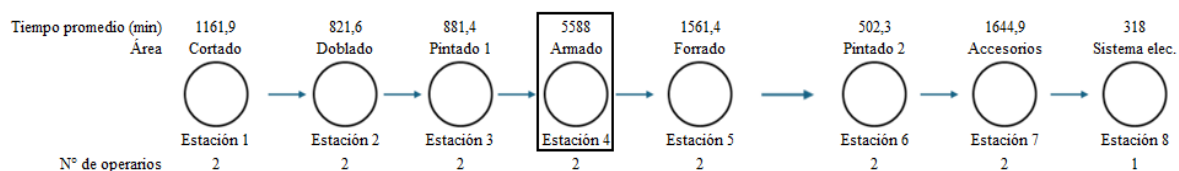
$$T = 0,118 \text{ furgón liso/día} \left( 20\,000 \frac{\text{soles}}{\text{furgón liso}} - 6\,787,72 \frac{\text{soles}}{\text{furgón liso}} \right)$$

$$T = 1\,559,05 \text{ soles/día}$$

Posteriormente, se seguirán los siguientes pasos de mejora continua de la teoría de restricciones, teniendo un enfoque estructurado optimizará el rendimiento del sistema y reducirá los costos operativos.

### 1. Identificar la restricción del sistema

En la siguiente figura se presenta la situación del proceso teniendo en cuenta el tiempo estándar de cada área y la cantidad de operarios



**Figura 1. Situación actual del proceso**

Fuente: Elaboración propia

### 2. Explotar la restricción del sistema

Explotar la restricción implica maximizar la producción de la misma. Según el diagnóstico, uno de los factores que generan costos en la fabricación de un furgón liso es la distribución ineficiente de recursos y actividades. Como se muestra en el anexo 22, muchas actividades no agregan valor, como las constantes verificaciones del escuadrado y los reprocesos de piezas mal cortadas o dobladas.

En el anexo 23 se identifican las actividades que se buscará eliminar o simplificar para reducir el tiempo. Como se puede evidenciar existen diversas actividades que no agregan

valor, teniendo como total un tiempo de 1 938 minutos, lo cual sería el 34,7% del tiempo que se necesita en la etapa del armado.

$$\% \text{Actividades que no agregan valor} = \frac{1\,938 \text{ min}}{5\,588 \text{ min}} = 34,7\%$$

Estas actividades incluían procesos repetitivos de verificación y ajustes manuales que afectaban negativamente la eficiencia y precisión del proceso. Para minimizar estas tareas y reducir la necesidad de correcciones, resultó esencial implementar herramientas de medición más precisas y técnicas avanzadas que garantizaran un control dimensional efectivo.

Durante las observaciones se determinó que los operarios empleaban winchas para medir diagonales y verificar los ángulos de los rectángulos, como se muestra en el Anexo 24. Sin embargo, este método presentaba limitaciones significativas en precisión, repetitividad y tiempo empleado. Como menciona Goldratt [22] el cuello de botella determina el rendimiento global del sistema, por lo que las operaciones previas deben ser lo más precisas y rápidas posibles para evitar interrupciones en el flujo de trabajo.

Por tal motivo, se propuso la incorporación de medidores digitales de ángulos para optimizar la etapa de armado. Gryna, Chim y Defeo [33] resaltan que los dispositivos tecnológicos avanzados no solo reducen el impacto de errores humanos durante la inspección, sino que también resultan más intuitivos y rápidos de utilizar, disminuyendo la dependencia de habilidades individuales y mejorando la consistencia en las mediciones.

En el mercado se identificaron diversos modelos de medidores digitales de ángulos, destacando las marcas Bosch y Shahe. El modelo Bosch ofrecía mayor precisión, mientras que el Shahe resultaba más económico y contaba con un rango de medición más amplio; por ello, se optó por la marca Shahe, tal como se muestra en el Anexo 25.

Como complemento, se propuso el uso de un nivel láser de línea, que, en conjunto con el medidor digital, reduciría los errores y eliminaría la necesidad de medir repetidamente las diagonales. Esto permitiría un ahorro significativo de tiempo y una mayor agilidad en el armado. De acuerdo con el análisis del Anexo 26, se evaluaron las marcas Bosch y Dewalt, seleccionándose finalmente el modelo GLT3 de Bosch por su alta precisión ( $\pm 0.2$  mm) y su costo competitivo de S/ 690.

Por otro lado, se identificó un retraso de 45 minutos ocasionado por la entrega física de planos por parte del supervisor, lo que interrumpía la continuidad del proceso y aumentaba los tiempos de ciclo, además de generar riesgos de error por la manipulación de documentos impresos. Para liberar esta restricción en el flujo de información, la propuesta se orientó hacia

la Manufactura en la Nube. Helo y Hao [17] sostienen que los sistemas basados en la nube incrementan la agilidad, transparencia y colaboración en la gestión de producción.

Se evaluaron diversas alternativas de software CAD 3D aplicando criterios técnicos rigurosos. Aunque Fusion 360 y SolidWorks 3D Experience ofrecen amplias funcionalidades, dependen de licencias locales o infraestructura híbrida. En cambio, Onshape destacó por ser una herramienta cloud-native, que permite acceso en tiempo real, control automático de versiones y colaboración desde cualquier dispositivo [16].

Asimismo, un estudio reciente de la plataforma Onshape [34] identificó que los principales desafíos de los equipos de ingeniería son el desperdicio de tiempo, los problemas de comunicación y la rigidez de los entornos de trabajo. Dicho informe concluyó que los usuarios de soluciones CAD cloud-native, como Onshape, reportaron una mayor satisfacción gracias a la mejora en la gestión de datos (PDM) y la colaboración en tiempo real, lo que garantiza que esta herramienta aborde las causas subyacentes de la ineficiencia.

Por lo tanto, la propuesta consiste en mantener AutoCAD como software de diseño para garantizar la estandarización y precisión en el modelado, y complementarlo con Onshape como repositorio central y plataforma colaborativa. Basándose en el concepto de Manufactura en la Nube, los planos elaborados en AutoCAD se cargarán de inmediato a Onshape.

Esta integración reemplazará la entrega física que generaba 45 minutos de espera por una distribución inmediata (estimada en menos de cinco minutos), eliminando la restricción del flujo de información. Asimismo, se habilitarán notificaciones automáticas y control de versiones para asegurar que todos los actores trabajen sobre la información más reciente, mejorando significativamente la eficiencia del sistema bajo la Teoría de Restricciones.

The screenshot displays the Onshape pricing page with a navigation bar at the top containing 'WHY ONSHAPE', 'PRODUCT', 'PRICING', 'INDUSTRIES', and 'RESOURCES', along with a 'SIGN UP NOW' button. The main content area features four pricing cards:

Free Plan	Standard Plan	Professional Plan	Enterprise
BEST FOR PERSONAL PROJECTS	BEST FOR INDIVIDUALS	BUILT FOR TEAMS	SCALABLE, CONFIGURABLE SOLUTIONS
\$0	\$1,500 per user per year	\$2,500* per user per year	Contact us for custom pricing.
SIGN UP FREE	LEARN MORE	TRY FOR FREE	CONTACT SALES
<ul style="list-style-type: none"> <li>Unlimited public storage</li> <li>CAD tools</li> <li>Real-time collaboration</li> <li>Version control</li> <li>Mobile apps</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>All the features of Free</li> <li>Unlimited private storage</li> <li>Direct, In Product Support</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>All the features of Standard</li> <li>Company-managed data</li> <li>Release management</li> <li>Advanced PDM</li> <li>Simulation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>All the features of Professional</li> <li>Custom Release Management</li> <li>Analytics and Dashboards</li> <li>Arena PLM Connection</li> <li>Advanced Admin and Security</li> </ul>

**Figura 2. Planes del software Onshape**

**Fuente:** Onshape [35]

Como paso final y crucial para la implementación en el contexto de la Industria 4.0, se complementará la solución con la adquisición de tabletas industriales. Para la selección, se evaluaron modelos como la Getac F110 y la Panasonic Toughbook, priorizando la durabilidad (certificación IP65/68), la resistencia a caídas y el brillo de pantalla para entornos de taller (ver anexo 27)

Se propone la adquisición de dos unidades, cuya distribución es estratégicamente diseñada para optimizar el flujo de trabajo en las etapas que alimentan y constituyen el cuello de botella. Las tabletas se distribuirán de la siguiente manera: una unidad fija en la estación de Armado (la restricción principal, 5 588 minutos) para asegurar el acceso inmediato a la última versión de los planos; una segunda unidad móvil asignada al supervisor para facilitar la consulta in situ y la aprobación digital de los diseños. Esta distribución garantiza la disponibilidad de datos en tiempo real a pie de máquina en los puntos más sensibles del proceso, lo cual es fundamental para la ejecución estandarizada y la eficiencia bajo la Teoría de Restricciones.

Con esta propuesta se espera reducir el tiempo actual de recepción de planos a un tiempo mínimo, ya que se elimina la entrega física, además, se espera una mayor rapidez en el acceso y modificación de diseños, facilitando la toma de decisiones y la resolución de problema, además al trabajar directamente con archivos digitales precisos y actualizados, se disminuye la probabilidad de errores en el diseño. También se ha desarrollado un procedimiento para la verificación de ángulos y apuntalado, este se puede observar en el anexo 28. Finalmente, luego de realizar las propuestas para explotar la restricción, en el anexo 29, se presenta el proceso de armado después de las propuestas, siendo así que hay una reducción en el tiempo, de 5 588 minutos pasó a 4 728 minutos. Sin embargo, sigue siendo la restricción, es decir, el tiempo de ciclo, por lo que con este nuevo tiempo se hallará el indicador de producción:

$$\text{Producción} = \frac{11 \frac{\text{horas}}{\text{día}} * 60 \frac{\text{min}}{\text{horas}}}{4\,728 \frac{\text{min}}{\text{furgón liso}}} = 0,140 \text{ furgón liso/día}$$

Se puede evidenciar que hay un aumento en la producción diaria, de 0,118 a 0,140 furgón liso/día.

### 3. Subordinar cualquier otra cosa al proceso anterior

Como se muestra en el anexo 23, existen actividades que se pueden realizar antes de que las piezas lleguen a la etapa de armado, como el corte y enderezado de tubos. Estas actividades serán subordinadas al control de calidad previo al armado, asegurando que todas las piezas cumplan con las especificaciones antes de esta etapa. De este modo, se evitan

ajustes o modificaciones durante el ensamblaje, minimizando interrupciones y permitiendo que el cuello de botella opere de forma continua y eficiente. Al interceptar errores antes del armado, se mejora la calidad del producto final y se reduce la probabilidad de rechazos o retrabajos posteriores.

La integración del control de calidad previo es una forma de subordinar las etapas anteriores al cuello de botella, asegurando que solo lleguen piezas conformes y maximizando la capacidad de la restricción. Además, esta etapa debe ser parte de un proceso de mejora continua que incluya el monitoreo constante de resultados, identificación de causas raíz y la implementación de acciones correctivas en etapas previas como corte, doblado y pintado, para disminuir errores en futuras producciones.

Es por eso que se propone la implementación de un área de control de calidad antes del armado y que este siga el procedimiento que se encuentra en el anexo 30. Asimismo, en el anexo 31 se tiene la etapa del armado después de subordinar todo a otra etapa del proceso con un tiempo de 4 190 minutos, posteriormente se halla la producción con este tiempo, evidenciando un aumento de 0,118 a 0,158 furgón liso/día.

#### **4. Elevar la restricción del sistema**

Para elevar la restricción del sistema, se propone un plan integral de capacitación y mejora del personal, enfocado en optimizar las habilidades de los operarios mediante la implementación de nuevas tecnologías y técnicas de trabajo avanzadas. Este plan incluye los siguientes temas:

- Teoría de Restricciones (TOC): Se busca que los operarios comprendan la TOC para identificar y gestionar limitaciones en el sistema de producción, mejorando la colaboración y eliminando cuellos de botella.
- Aplicación de la TOC, costos y resultados: Enseña a aplicar la TOC en la empresa, enfocándose en la relación entre costos, eficiencia y resultados, optimizando el flujo de trabajo y reduciendo costos sin comprometer la calidad.
- Habilidades para el empleo: Desarrolla habilidades técnicas y blandas, como el uso de nuevas tecnologías y competencias interpersonales (comunicación y trabajo en equipo).
- Curso de sistema CAD: La formación continua en OnShape garantiza que los operarios y diseñadores estén al tanto de las mejores prácticas y nuevas funcionalidades, lo que ayuda a mejorar constantemente la calidad de los diseños y la eficiencia en la producción.

En el anexo 32 se presenta el plan de capacitación con un cronograma detallado. Debido a la limitada disponibilidad de cursos sobre teoría de restricciones, se seleccionó UdeMy por

su introducción rápida y económica. Para habilidades laborales, se optó por las capacitaciones gratuitas y remotas ofrecidas por el estado peruano. En cuanto al curso de sistema CAD, se evaluaron diversas opciones: Udemy, que permite formación económica y flexible; Onshape Learning Center, que ofrece certificación oficial y formación especializada; y Pluralsight, con una amplia oferta de cursos tecnológicos. Se eligió Udemy por su accesibilidad y la posibilidad de que los operarios aprendan a su propio ritmo.

Asimismo, en el anexo 33 se muestra el plan de monitoreo del plan de capacitación, el cual fue elaborado con la finalidad de realizar un seguimiento estructurado al desarrollo de los módulos propuestos. Este plan permite evaluar el cumplimiento del cronograma, la asistencia, el nivel de satisfacción y el grado de aprendizaje alcanzado por los participantes, así como verificar la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos. De esta manera, se asegura la efectividad del proceso de capacitación y se promueve la mejora continua en la formación del personal.

La combinación de estos factores contribuirá significativamente a reducir los tiempos de producción en esta etapa clave. Los nuevos tiempos del proceso de armado se detallan en el anexo 34, identificando que ahora el armado dura 3 272 minutos, por lo que se tendrá la siguiente producción:

$$\text{Producción} = \frac{11 \frac{\text{horas}}{\text{día}} * 60 \frac{\text{min}}{\text{horas}}}{3\,272 \frac{\text{min}}{\text{furgón liso}}} = 0,202 \text{ furgón liso/día}$$

Se puede observar que la producción aumentó de 0,118 a 0,202 furgón liso por día. Con esta producción, se hallará el Throughput de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Throughput} &= N(\text{PV} - \text{CV}) \\ T &= 0,202 \text{ furgón liso/día} \left( 20\,000 \frac{\text{soles}}{\text{furgón liso}} - 6\,787,72 \frac{\text{soles}}{\text{furgón liso}} \right) \\ T &= 2\,668,8 \text{ soles/día} \end{aligned}$$

Se puede observar que el Throughput aumentó de 1 559,05 a 2 668,89 soles/día.

## 5. Volver al paso 1, si se ha superado la restricción

Con las propuestas se ha evidenciado una disminución en el tiempo de ciclo, sin embargo, no se ha superado la restricción. Por lo que, se va a evitar la inercia y que haya nuevas restricciones. Goldratt [22], indica que es necesario vigilar que la capacidad extra generada no migre el cuello de botella a una nueva área, por lo que se propone un monitoreo constante, para esto se utilizarán gráficos de control manuales, donde los operarios van a registrar datos clave como el tiempo de ciclo, tiempo de inactividad y nivel de inventario antes de la

restricción, ya que como menciona Schragenheim, Dettmer y Pstterson [36], un monitoreo constante permite detectar desviaciones en el flujo antes de que se conviertan en problemas críticos.

Después de elaborar la propuesta, se van a comparar los indicadores antes y después de la propuesta.

**Tabla 6. Resumen de indicadores antes y después de la propuesta**

Indicador	Antes de la mejora	Después de la mejora	Variación	
Producción	0,118 furgón liso/día	0,202 furgón liso/día	71%	Aumentó
Tiempo total de proceso	12 479,5 min	10 163,5 min	-19%	Disminuyó
Número de estaciones	8	8	-	-
Tiempo de ciclo	5 588 min	3 272 min	-41%	Disminuyó
Eficiencia de línea	27,9%	38,8%	39%	Aumentó
Tiempo muerto	32 224,5 min	16 012,5	-50%	Disminuyó
Pedidos con retraso	53%	40%	-24%	Disminuyó
Throughput	1 559,05 soles/día	2 668,9 soles/día	71%	Aumentó

**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede observar las propuestas han logrado que disminuyan indicadores como el tiempo total de proceso, tiempo de ciclo y tiempo muerto. Asimismo, aumentó en un 71% la producción y en 39% la eficiencia de línea. Estas mejoras también se evidencian en la disminución de pérdidas económicas, como se muestra a continuación.

**Tabla 7. Pérdidas económicas antes y después de la propuesta**

Causa	Antes	Después	Variación	
Penalizaciones por demora en pedidos	S/ 12 600	S/ 8 200	-35%	Disminuyó
Pedidos reprocesados	S/1 710,75	S/1 375,57	-20%	Disminuyó
Total	S/14 310,75	S/9 574,57	-33%	Disminuyó

**Fuente:** Elaboración propia

Se puede evidenciar que las propuestas lograron disminuir en un 33% las pérdidas económicas.

Realizar un análisis costo – beneficio de la propuesta de mejora aplicable al proceso productivo de la empresa metalmecánica.

- Ingresos

Las propuestas elaboradas han logrado beneficios, lo que ha resultado en un incremento en la producción, esto se ve reflejado de la siguiente manera:

$$\text{Producción antes de mejora} = 0,118 \frac{\text{furgón liso}}{\text{día}} \times 312 \frac{\text{días}}{\text{año}}$$

$$\text{Producción antes de mejora} = 36,85 \cong 36 \text{ furgón liso/año}$$

$$\text{Producción después de mejora} = 0,202 \frac{\text{furgón liso}}{\text{día}} \times 312 \frac{\text{días}}{\text{año}}$$

$$\text{Producción después de mejora} = 62,93 \cong 62 \text{ furgón liso/año}$$

Se puede observar que la producción anual incrementó en 26 furgones lisos, por lo que para determinar los ingresos se toma en cuenta esto y su precio de venta, obteniéndose los

ingresos para los próximos cinco años, siendo observa que por año se tendrá un total de S/520 000.

**Tabla 8. Ingresos por ventas de furgones lisos**

Año	Incremento (unidades)	Precio de venta (S/)	Ingresos (S/)
1	26	20 000	520 000
2	26	20 000	520 000
3	26	20 000	520 000
4	26	20 000	520 000
5	26	20 000	520 000

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, con la propuesta se logró un ahorro de S/. 4 400 al reducir las penalidades por retrasos en la entrega de pedidos, como se muestra en el anexo 35. Por otro lado, por la propuesta de la etapa de control de calidad, se disminuye los pedidos reprocesados, obteniendo un beneficio de S/. 336,18 como se ve en el anexo 36.

#### - Egresos

La propuesta contempló la incorporación de medidores digitales de ángulos y un nivel láser de línea para incrementar la precisión en la etapa de armado, junto con la implementación del software Onshape y tabletas industriales con el fin de reducir tiempos improductivos. Además, se planteó un plan de capacitación dirigido a los colaboradores para garantizar el uso adecuado de las nuevas herramientas tecnológicas.

El costo total de inversión ascendió a S/ 41 001,7 como se muestra en la Tabla 9. Para la elaboración del flujo de caja, se consideró este monto como inversión inicial correspondiente al primer año. Sin embargo, debido a que el software Onshape posee una licencia anual, se incluyó un costo recurrente de S/ 5 100 por cada periodo proyectado.

**Tabla 9. Costos de inversión**

Elementos	Costo total
Nivel láser de línea	S/ 2 760,0
Medidor digital de ángulos	S/ 825,0
Tabletas industriales	S/ 29 217,7
Software OnShape	S/ 5 700,0
Plan de capacitación	S/ 2 499,0
<b>Total de inversión</b>	<b>S/ 41 001,7</b>

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se contemplaron como egresos los costos de materiales asociados a la fabricación de cada furgón, tal como se detalla en el Anexo 37. Dichos costos representaron un total anual de S/ 176 481, considerando la producción adicional de 26 furgones lisos.

A continuación, se presenta el flujo de caja proyectado correspondiente a la propuesta de mejora, en el cual se detallan las utilidades estimadas para los próximos cinco años.

**Tabla 10. Flujo de caja de la propuesta**

<b>Flujo de caja</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
<b>Ingresos</b>					
Ventas extras	S/ 520 000	S/ 520 000	S/ 520 000	S/ 520 000	S/ 520 000
Beneficio por reducción de penalidades	S/ 4 400	S/ 4 400	S/ 4 400	S/ 4 400	S/ 4 400
Beneficio por disminución de reprocesos	S/ 336,18	S/ 336,18	S/ 336,18	S/ 336,18	S/ 336,18
<b>Total de ingresos</b>	<b>S/524 736,18</b>	<b>S/524 736,18</b>	<b>S/524 736,18</b>	<b>S/524 736,18</b>	<b>S/524 736,18</b>
<b>Egresos</b>					
Costo de inversión	S/ 41 001,7	S/ 5 700	S/ 5 700	S/ 5 700	S/ 5 700
Costo de materiales	S/176 480,7	S/176 481	S/176 481	S/176 481	S/176 481
<b>Total de egresos</b>	<b>S/ 217 482,4</b>	<b>S/ 182 181</b>	<b>S/ 182 181</b>	<b>S/ 182 181</b>	<b>S/ 182 181</b>
<b>Utilidad bruta</b>	<b>S/ 307 253,7</b>	<b>S/ 342 555</b>	<b>S/ 342 555</b>	<b>S/ 342 555</b>	<b>S/ 342 555</b>

Fuente: Elaboración propia

El cálculo del costo-beneficio de la propuesta se realizó dividiendo el total de ingresos entre el total de egresos para el período proyectado.

$$\text{Beneficio} - \text{costo} = \frac{\text{Ingresos}}{\text{Egresos}} = \frac{S/ 2 623 680,9}{S/ 946 205,34} = 2,77$$

Como se puede evidenciar, la propuesta tiene un indicador costo-beneficio de 2,77 soles, esto quiere decir que por cada sol invertido se obtiene un beneficio de 1,77 soles. Por lo tanto, la inversión de esta propuesta es rentable.

Una vez elaborado el flujo de caja y determinadas las utilidades proyectadas para los próximos cinco años, fue necesario evaluar la estabilidad de los resultados frente a posibles variaciones en las condiciones económicas o productivas, como se puede observar en la tabla 11.

**Tabla 11. Análisis de sensibilidad**

	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
<b>INGRESOS</b>	<b>524 736,18</b>	<b>524 736,18</b>	<b>524 736,18</b>	<b>524 736,18</b>	<b>524 736,18</b>
<b>50,0%</b>	262 368,09	262 368,09	262 368,09	262 368,09	262 368,09
<b>64,0%</b>	188 905,02	188 905,02	188 905,02	188 905,02	188 905,02
<b>65,0%</b>	183 657,66	183 657,66	183 657,66	183 657,66	183 657,66
<b>EGRESOS</b>	<b>217 482,46</b>	<b>182 180,72</b>	<b>182 180,72</b>	<b>182 180,72</b>	<b>182 180,72</b>
	<b>B/C</b>	<b>2,77</b>			
	B/C 1	1,39			
	B/C 2	1,00			
	B/C 3	0,97			

Fuente: Elaboración propia

En un escenario optimista, en el que se cumplen en su totalidad las proyecciones establecidas, el proyecto alcanzó una relación beneficio-costos (B/C) de 2,77, lo que evidencia una alta rentabilidad. No obstante, si la producción prevista se redujera en un 64 %, el valor del B/C se aproximaría a 1, indicando el punto de equilibrio del proyecto. En cambio, una

disminución del 65 % en la producción generaría un B/C de 0,97, valor que reflejaría la pérdida de viabilidad económica de la propuesta.

Los resultados del análisis de sensibilidad evidenciaron que la rentabilidad del proyecto es altamente sensible a las variaciones en el nivel de producción. Esto significa que la propuesta mantiene su viabilidad mientras la producción no disminuya más del 64 % respecto a lo estimado. A partir de ese punto, el valor del beneficio-costos se aproxima a la unidad, y una reducción superior genera pérdidas económicas. Por lo tanto, se concluyó que la sostenibilidad del proyecto depende de mantener un flujo de producción estable y una adecuada gestión operativa, factores esenciales para garantizar el aprovechamiento de la restricción y la recuperación de la inversión inicial.

### ***Discusión de resultados***

Se realizó el diagnóstico del proceso productivo de una empresa metalmecánica ubicada en la ciudad de Trujillo, empleando el diagrama de Ishikawa. En este análisis se identificaron como principales causas de ineficiencia la distribución inadecuada de recursos, las demoras en la verificación de medidas, la ausencia de procesos estandarizados, la presencia de reprocesos y la existencia de un cuello de botella en el sistema productivo.

Asimismo, se determinó que la falta de un plan de capacitación para el personal contribuye significativamente a estos problemas. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Tuñoque[6], quien en su investigación identificó causas similares, como un cuello de botella elevado, deficiente control de calidad por pieza, mantenimiento inadecuado y defectos en la soldadura.

De igual manera, Abisambra y Mantilla[9] señalaron que los cuellos de botella, la programación ineficiente y los desequilibrios en la capacidad productiva generan acumulación de inventarios y tiempos de espera prolongados, confirmando que los problemas de flujo y balance de línea son comunes en el sector metalmecánico.

Con relación a la restricción identificada en el proceso de fabricación del furgón liso de dos toneladas, se determinó que esta se encuentra en la etapa de armado, con un tiempo de 5 588 minutos. Este hallazgo guarda similitud con los resultados obtenidos por Abisambra y Mantilla[9], quienes basándose en la teoría de restricciones, identificaron el cuello de botella en la etapa de empaque de piezas pintadas, con un tiempo de 8 100 minutos.

Por otro lado, Tuñoque [6] localizó su restricción en la etapa de soldadura durante la fabricación de motocargas, con un tiempo de 270,29 minutos. Estas coincidencias refuerzan el principio central de la Teoría de Restricciones (TOC), que sostiene que la mejora del

desempeño global depende de la identificación y explotación adecuada de la limitación principal del sistema.

Posteriormente, se elaboró una propuesta de mejora basada en la TOC, siguiendo sus cinco pasos de enfoque. En la etapa de subordinación, se propuso reducir las actividades que no agregan valor, incorporar medidores digitales de ángulo y nivel láser para mejorar la precisión, e implementar el software Onshape para la digitalización de planos y su acceso mediante tabletas industriales.

Además, se planteó un plan de capacitación técnica para fortalecer las competencias del personal. Como resultado, el tiempo de ciclo se redujo de 5 588 a 3 272 minutos, lo que incrementó la producción diaria de 0,129 a 0,22 furgones lisos por día. Comparando estos hallazgos con los de Abisambra y Mantilla[9], quienes lograron reducir el tiempo de ciclo de 8 100 a 398 minutos mediante la reasignación de personal y una mejor programación en la etapa de restricción.

Tuñoque [6], alcanzó una disminución del 19,17 % en el tiempo de ciclo tras implementar diagramas de operaciones y un plan de capacitación acompañado de la adquisición de nuevas máquinas. En conjunto, estos estudios respaldan que la aplicación de la TOC es efectiva para optimizar procesos en la industria metalmecánica, especialmente cuando se complementa con herramientas tecnológicas y capacitación continua.

Asimismo, los planteamientos de Lin y Lin [16] sobre la evaluación de software CAD 3D respaldan la elección de Onshape como herramienta cloud-native, cuya implementación facilitó la colaboración en tiempo real y la gestión eficiente de planos, contribuyendo a la reducción de demoras y errores en la producción.

Por otro lado, la propuesta guarda relación con el estudio de Helo y Hao [17], quienes demostraron que la manufactura en la nube permite virtualizar los recursos productivos y mejorar la planificación. En concordancia, la digitalización de los planos y la centralización de la información técnica en la empresa metalmecánica constituyen un paso hacia la manufactura inteligente y la conectividad industrial.

De igual forma, la incorporación de tecnologías de medición de alta precisión concuerda con los aportes de Wang et al. [18], quienes enfatizan que la calidad y exactitud de los datos son determinantes para la fiabilidad de los procesos en entornos de manufactura avanzada

Por último, con respecto a los resultados del tercer objetivo, se obtuvo un beneficio- costo (b/c) de 2,77 lo que confirma la viabilidad y rentabilidad de la propuesta. Estos resultados coinciden con los reportados por Tuñoque [6], quien logró un B/C de 2,12 en su propuesta para una empresa dedicada a la fabricación de motocargas. Asimismo, se muestra una similitud con

lo señalado por Sicche y Cárdenas [7] quienes reportaron un B/C de 1,79 en su estudio centrado en una empresa metalmecánica. Estas comparaciones no solo respaldan la validez de la propuesta, sino que también subrayan su relevancia en el ámbito de la mejora de la eficiencia y la rentabilidad en la industria.

No obstante, el análisis de sensibilidad reveló que la rentabilidad depende en gran medida del nivel de producción: si este disminuye más del 64%, el proyecto pierde viabilidad. En síntesis, los resultados obtenidos demuestran que la propuesta desarrollada valida la pertinencia de combinar la gestión de la restricción con la digitalización y la medición precisa, constituyendo una estrategia efectiva para la transformación tecnológica y competitiva de la industria metalmecánica

### **Conclusiones**

Se logró reducir los costos operativos del proceso productivo de S/ 14 310,75 a S/ 9 574,57, lo que representa una disminución del 33% del valor inicial, mediante la teoría de restricciones de una empresa metalmecánica ubicada en Trujillo, asimismo, aumentó la producción en 26 furgones lisos al año.

Respecto al diagnóstico del proceso productivo, se identificó que la etapa de armado constituye la principal restricción del sistema, debido a su tiempo de operación de 5 588 minutos, lo cual genera acumulación de trabajo en proceso y 32 224,5 minutos de tiempos muertos. Esta situación provocó una eficiencia de línea del 27,9%, una capacidad productiva limitada a 0,129 furgones lisos/día y retrasos en la entrega del 53% de los pedidos, confirmando la necesidad de implementar mejoras estructurales.

En relación la elaboración de la propuesta de mejora mediante la teoría de restricciones, se desarrolló una solución enfocada en el principal cuello de botella del proceso productivo. La propuesta sugiere un aumento en la producción del 71%, junto con una reducción del tiempo total de proceso en un 19% y del tiempo muerto en un 50%. Además, se estima una mejora del 39% en la eficiencia de la línea.

En conclusión, el análisis financiero demostró la viabilidad económica de la propuesta, sustentada en el incremento de ingresos derivados de la mayor producción, la reducción de penalidades y la disminución de reprocesos. Los costos operativos se redujeron de S/ 14 310,75 a S/ 9 574,57 (33%), alcanzándose un beneficio–costo de 2,77. No obstante, el análisis de sensibilidad mostró que una caída en la producción superior al 64 % afectaría la rentabilidad del proyecto, por lo que mantener la eficiencia operativa es clave para garantizar la sostenibilidad de los resultados.

**Recomendaciones**

- Realizar un análisis detallado de otras etapas del proceso productivo para identificar oportunidades de mejora y eliminar pasos innecesarios.
- Se recomienda considerar la integración de diversas herramientas de mejora continua, especialmente las de Lean Manufacturing, con el objetivo de reducir desperdicios y optimizar procesos. Esta estrategia permitirá a la empresa satisfacer su demanda de manera más eficiente, minimizando costos y mejorando la rentabilidad.
- Se recomienda evaluar y analizar la implementación de propuestas adicionales, como el uso de plantillas metálicas en las etapas de corte, doblado y soldadura. Estas plantillas, al estandarizar y guiar las operaciones de armado, podrían acelerar significativamente el proceso productivo al reducir la necesidad de verificaciones constantes, como la del escuadrado y la comparación entre medidas reales y las especificadas en los planos.

## Referencias

- [1] “Sector metalmecánico y su potencial exportador en Sudamérica,” *La Cámara*, Lima, 2020.
- [2] “La industria metalmecánica en Latinoamérica en 2023: perspectivas y oportunidades,” *Metalmecánica*, Jul. 17, 2023.
- [3] PRODUCE, “Reporte de producción manufacturera,” *Ministerio de la producción*, 2023.
- [4] J. Tavera, “EL SECTOR METALMECÁNICO EN PERÚ: EL CAPITAL HUMANO UN RECURSO ESCASO,” *Congreso Virtual Internacional Transformación e Innovación en las Organizaciones*, Dec. 2020.
- [5] “Estudio de investigación sectorial del Sector Metalmecánico 2024,” 2024. Available: <https://www.producepresarial.pe/estudio-de-investigacion-sectorial-del-sector-metalmecanico/>
- [6] E. Tuñoque, “Aplicación de la teoría de restricciones para mejorar la productividad en la empresa planta industrial Chemoto S.A.C.,” Universidad Señor de Sipán, 2021. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12802/7901>
- [7] I. Cardenas and B. Sicche, “Propuesta de mejora mediante herramientas lean y teoría de restricciones para reducir sus costos operativos de una empresa metalmecánica,” Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte, Perú, 2022. Available: <https://hdl.handle.net/11537/33297>
- [8] D. Montoya and A. Perez, “Aplicación de la teoría de restricciones en el proceso de producción para incrementar la productividad en la empresa de calzado Grupo Carusso S. A. C.,” Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte, 2021. Available: <https://hdl.handle.net/11537/27714>
- [9] A. J. (Abraham J. Abisambra-Lemus and L. A. (Luis A. Mantilla-Cuadros, “Aplicación de la teoría de restricciones (TOC) a los procesos de producción de la planta de fundición de Imusa.” May 13, 2014. Available: <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/635>. [Accessed: Sep. 08, 2024]
- [10] J. T. G. Villegas, M. L. S. Ríos, E. O. G. Villegas, and C. L. C. Saucedo, “Teoría de restricciones en el mejoramiento de procesos productivos,” *STUDIES IN MULTIDISCIPLINARY REVIEW*, vol. 4, no. 1, pp. 02–13, Feb. 2023, doi: 10.55034/smrv4n1-001
- [11] A. Bazán and C. Chávez, “Un modelo integrado de Lean, Six Sigma y Teoría de Restricciones aplicado a la industria peruana de muebles de madera,” Universidad

- Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), 2020. Available: <http://hdl.handle.net/10757/651563>
- [12] O. Bernabé, “Modelo de optimización de procesos aplicando la teoría de restricciones en la empresa marina trading s.a., Ecuador ,” Repositorio Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2023. Available: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/10609>
- [13] M. Bombón, A. Jordán, and J. Jordán, “Teoría de restricciones como herramienta de desarrollo estratégico productivo del sector textil,” *593 Digital Publisher CEIT*, vol. 5, no. 4, pp. 52–66, Sep. 2019, doi: 10.33386/593dp.2019.5.116
- [14] M. Quispe, “Propuesta de implementación de teoría de restricciones para incrementar la productividad del área de manufactura mecánica de Empresa Resemin S.A,” Tesis Pregrado, Universidad Tecnológica del Perú, Chiclayo, 2022. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12867/7402>
- [15] M. Camacho Angulo, S. Banchón Jiménez, K. F. Barcia Villacreses, and M. Allauca Amaguaya, “Aplicación de la teoría de restricciones en un proceso productivo con enfoque a la industria 4.0,” *RECIAMUC*, vol. 7, no. 2, pp. 281–304, Apr. 2023, doi: 10.26820/reciamuc/7.(2).abril.2023.281-304
- [16] Y.-H. Lin and F.-J. Lin, “An assessment framework for the purchase of 3D CAD software in manufacturing industries,” *Technol Forecast Soc Change*, vol. 192, p. 122573, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.techfore.2023.122573
- [17] P. ; Helo and Hao, “Cloud manufacturing system for sheet metal processing Title: Cloud manufacturing system for sheet metal processing Cloud manufacturing system for sheet metal processing,” 2017, doi: 10.1080/09537287.2017.1309714. Available: <http://www.tandfonline.com/10.1080/09537287.2017.1309714>. [Accessed: Sep. 03, 2025]
- [18] S. Wang, R. Ma, F. Cao, L. Luo, and X. Li, “A Review: High-Precision Angle Measurement Technologies,” *Sensors*, vol. 24, no. 6, p. 1755, Mar. 2024, doi: 10.3390/s24061755
- [19] Fontalvo, “Gestión de la Producción y Operaciones,” *Mc Graw Hill*, 2023.
- [20] “Procesos Productivos.” Available: <https://debategraph.org/Handler.ashx?path=ROOT%2Fu17693%2FProcesos+Productivos.pdf>
- [21] E. Eleonor, *Proceso de Producción*. Mc Graw Hill, 2023.
- [22] E. Goldratt, *LA META*, 3rd ed. Ediciones Díaz de Santos, 2006.

- [23] *Theory of constraints (TOC) management system fundamentals*. National Association of Accountants, 2000.
- [24] J. M. Bauer, A. Vargas, and M. A. Sellitto, “COMPARAÇÃO ENTRE A TEORIA DAS RESTRIÇÕES, A MANUFATURA ENXUTA E A ABORDAGEM SEIS SIGMA,” 2015. Available: [www.linkania.org](http://www.linkania.org)-Página170de196
- [25] C. Espinoza and F. Jiménez, *Costos industriales*, 1st ed. Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2007.
- [26] S. Chapman, *Planificación y control de la producción*. Pearson Educación, 2006.
- [27] J. Cruelles, *Mejora de métodos y tiempos de fabricación*. Marcombo, Ediciones Técnicas, 2012.
- [28] G. Baca, M. Cruz, and M. Cristóbal, *Introducción a la Ingeniería Industrial*, 2nd ed. GRUPO EDITORIAL PATRIA, 2016.
- [29] E. A. Nantes, “EL MÉTODO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS PARA LA TOMA DE DECISIONES. REPASO DE LA METODOLOGÍA Y APLICACIONES.”
- [30] Hernández Roberto, *Metodología de la investigación*.
- [31] C. Bernal, “*Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales*.”. 2010.
- [32] B. Niebel and A. Freivalds, “Ingeniería Industrial, Métodos, Estandares y Diseño del Trabajo.,” *Mc. Graw Hill*, pp. 327–387, 2009.
- [33] F. Gryna, R. Chim Hai Chua, and J. Defei, *Juran’s quality planning and analysis: for enterprise quality*, vol. 5. 2006.
- [34] Onshape, “The State of Product Development & Hardware Design 2023-2024,” *Onshape*, 2024.
- [35] “Onshape,” 2024. Available: <https://www.onshape.com/en/>
- [36] S. J. New, “Supply chain management at warp speed: integrating the system from end to end, by E. Schragenheim, H. W. Dettmer and J. W. Patterson,” *Int J Prod Res*, vol. 48, no. 4, pp. 1221–1222, Feb. 2010, doi: 10.1080/00207540903290217

## Anexos

### Anexo 1. Análisis ABC para determinar la participación de los productos por ventas- año 2023

Producto	Producción (unidades)	Ventas (S/)	Porcentaje	Porcentaje acumulado	Clase
Furgón Liso / Acanalado	60	1 200 000	44%	44%	A
Furgón frigorífico	23	460 000	17%	61%	
Baranda Cerrada	20	400 000	15%	76%	
Baranda Rebatible	15	300 000	11%	87%	
Tolva	10	200 000	7%	95%	B
Semirremolque	7	140 000	5%	100%	C
<b>Total</b>	<b>135</b>	<b>2 700 000</b>	<b>100%</b>		

Fuente: Elaboración propia en base a Empresa Metalmecánica

### Anexo 2. Especificaciones de furgón liso de 2 toneladas

Furgón liso de 2 toneladas	
Presentación del producto	
Especificaciones técnicas	<p>Piso en plancha de acero diamantado de 2,5 o 4 mm de espesor</p> <p>Estructura principal del furgón en perfiles de diseño exclusivo de 2,5 mm de espesor</p> <p>Puertas traseras de dos manos con sistema de cierra de falla con exterior galvanizada</p> <p>Luces de tipo LED, de acuerdo con normativa vigente</p> <p>Terminación es esmalte poliuretano, color a elección del cliente.</p>

Fuente: Elaboración propia en base a Empresa Metalmecánica

### Anexo 3. Desechos del proceso de fabricación de furgón liso según el área que se generan

Área	Desecho	Tipo de desecho
<b>Corte</b>	Retacerías de planchas y tubos	Sólidos
	Virutas	
<b>Doblez</b>	Retacerías de tubos doblados inválidos	Sólidos
<b>Anticorrosivo</b>	Baldes de epóxica vacíos	Líquidos y Sólidos
	Brochas	
<b>Armado</b>	Soldadura inválida	Sólidos
<b>Colocación de accesorios</b>	Elementos como accesorios inválidos y desechados	Sólidos
<b>Forrado</b>	Planchas de galvanizado desechados	Sólidos
<b>Pintura</b>	Baldes de pintura vacío	Líquidos y Sólidos
<b>Sistema Eléctrico</b>	Elementos de sistema eléctrico desechados	Sólidos

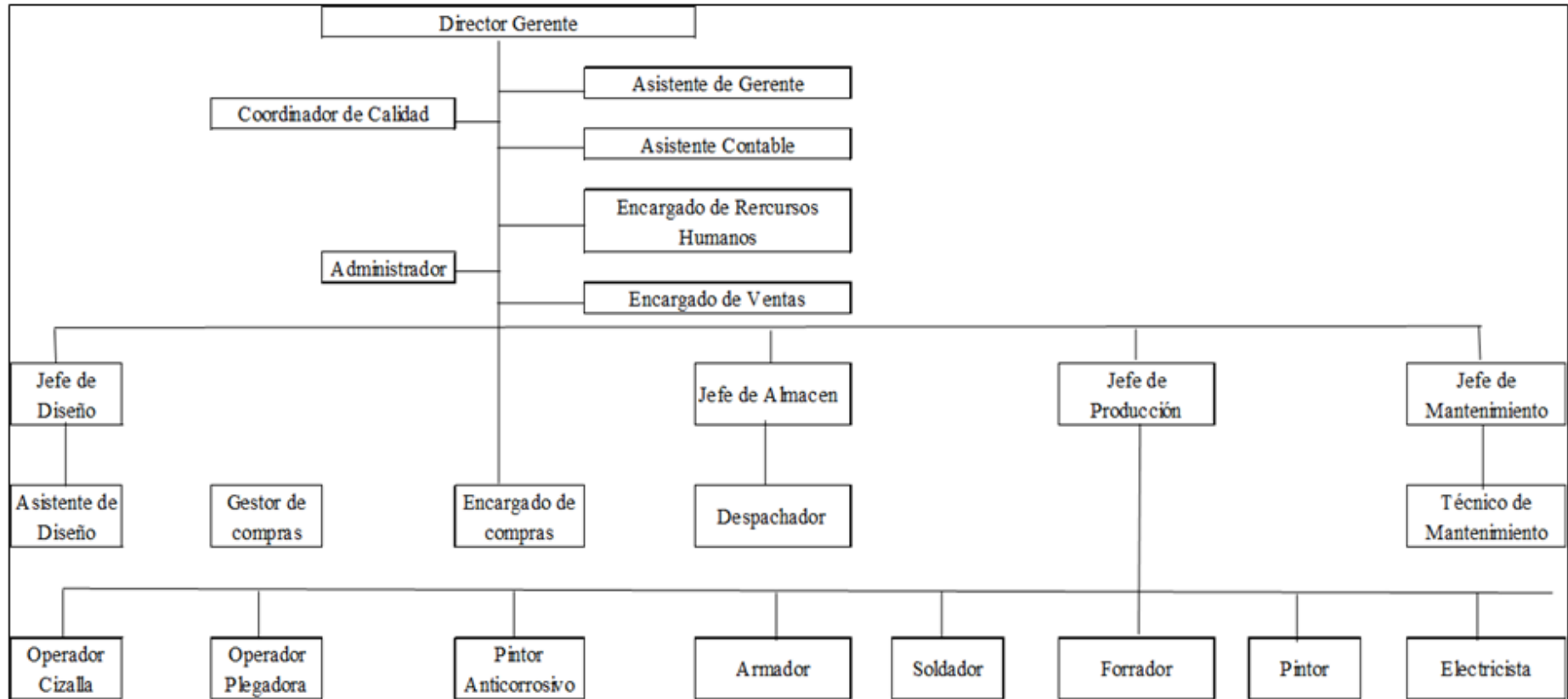
Fuente: Elaboración propia en base a Empresa Metalmecánica

### Anexo 4. Subproductos de la fabricación de furgón liso de 2 toneladas

Área	Desecho	Tipo de desecho	Descripción
<b>Colocación de accesorios</b>	Guardafangos metálicos, defensa lateral, parachoques y puertas.	Metal, Elementos de madera	Son aquellos accesorios que poseen varias fallas o desviaciones de lo que se requiera por lo cual pasan a ser desperdicios, sin embargo, con los respectivos arreglos pueden ser revendidos con otros fines

Fuente: Elaboración propia en base a Empresa Metalmecánica

### Anexo 5. Organigrama de la empresa metalmeccánica



Fuente: Elaboración propia en base a Empresa Metalmeccánica

## Anexo 6. Distribución de mano de obra

Área de trabajo	Nº de trabajadores	Sexo	Grado de instrucción
Supervisor	1		Título de Ingeniería
Asistente de Supervisor	1		Practicante
Operario de cortado	2	Masculino	Estudios secundarios y técnicos
Operario de doblado	2		
Operario de pintado con anticorrosivo	2		
Operario de armado	2		
Operario de forrado	2		
Operario de pintado	2		
Operario de accesorios	2		
Operario de sistema eléctrico	1		
<b>Total</b>	<b>17</b>		

Fuente: Elaboración propia en base a Empresa Metalmecánica

## Anexo 7. Maquinaria para fabricación de furgón liso de 2 toneladas

Área	Máquinas	Cantidad	Marca
<b>Corte</b>	Cizalla	1	HELLER
<b>Doblez</b>	Máquina dobladora	1	HELLER
<b>Anticorrosivo</b>	Comprensora	1	Truper
	Lijadora Orbital	2	Dewalt
	Taladro	2	Dewalt
<b>Armado</b>	Amoladora Bosch	2	Bosch
	Máquina de Soldar MIG	1	Truper
	Lijadora Orbital	1	DEWALT
	Roedora	2	Thakita
<b>Forrado</b>	Amoladora Bosch	2	Bosch
	Máquina de soldar MIG	1	Truper
	Taladro	1	Dewalt
<b>Pintura</b>	Comprensora	2	Truper
<b>Montaje de accesorios</b>	Taladro	1	Dewalt
	Amoladora Bosch	1	Bosch
<b>Sistema Eléctrico</b>	Taladro	2	Dewalt
	Amoladora Bosch	1	Bosch

Fuente: Elaboración propia en base a Empresa Metalmecánica

## Anexo 8. Tiempo promedio de operaciones

	Operación	Tiempo promedio (min)	
Cortado	Corte estructura	462	1 140
	Corte para forrado de techo	90	
	Corte para forrado de estructura	120	
	Corte para forrado de puertas	108	
	Traslado de piezas al área de doblez	360	
Doblez	Doblez estructura	600	810
	Traslado de piezas al área de armado	210	
Pintado con anticorrosivo	Anticorrosivo de estructura	252	864
	Anticorrosivo de tubos	240	
	Anticorrosivo piso	192	
	Traslado de piezas al área de armado	180	
Armado	Armado de estructura	4 854	5 568
	Ensamble	180	
	Armado de puertas	534	
Forrado	Forrado de piso estriado	606	1 536
	Forrado de estructura	240	
	Forrado de techo	186	
	Forrado de puerta	204	
	Traslado al área de pintado	300	
Pintado	Lijado y acondicionado	312	492
	Pintado	180	
Colocado de accesorios	Colocado de jebe J	300	1 620
	Fijación de guardafangos	48	
	Colocado de faros	150	
	Montado de puertas	420	
	Seguros de puerta	330	
	Colocado de abrazaderas	372	
Instalación de sistema eléctrico	Instalación	309,6	309,6
	<b>Total</b>		<b>12 339,6</b>

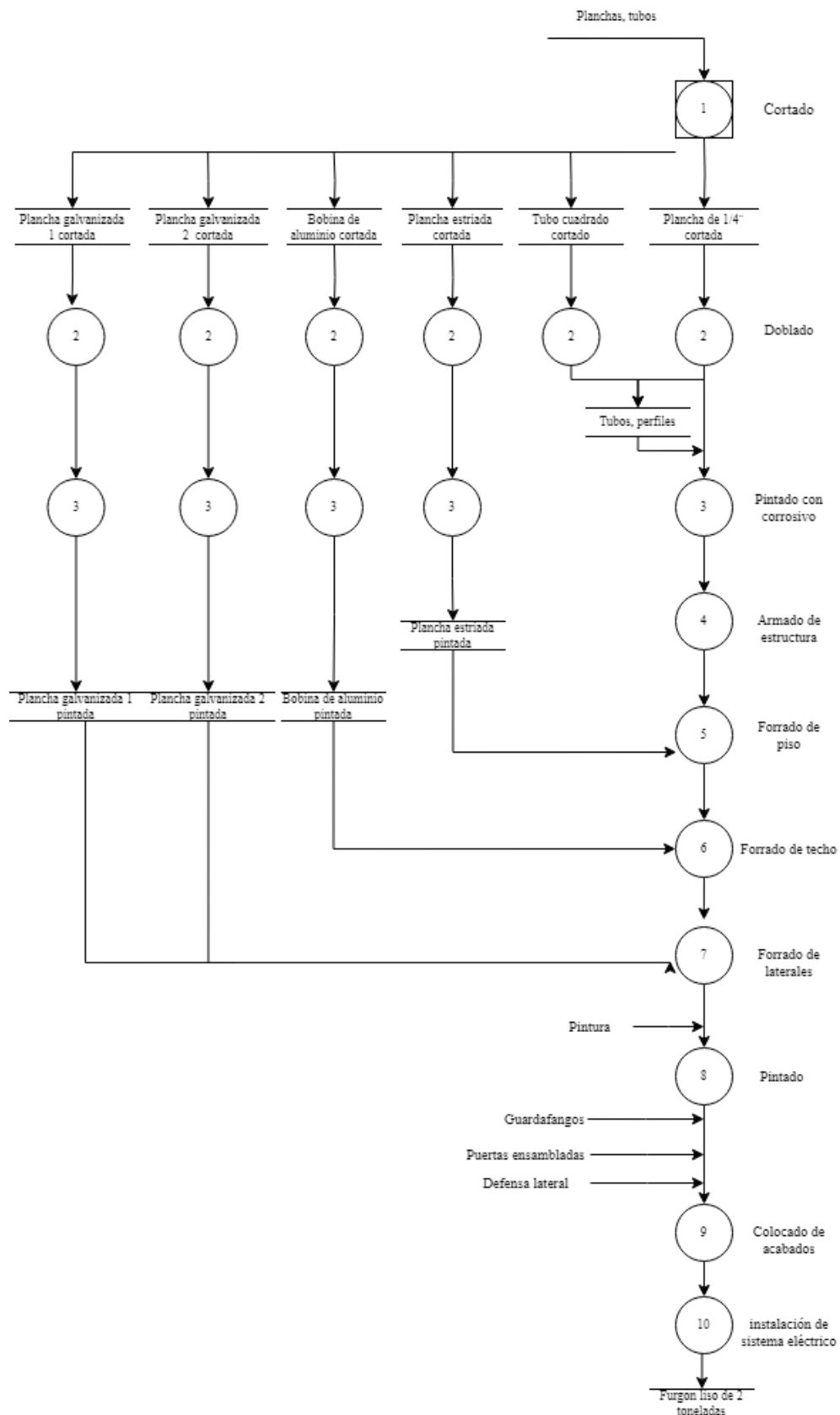
Fuente: Elaboración propia en base a Empresa Metalmecánica

**Anexo 9. Tiempo promedio del proceso de fabricación de un furgón liso de 2 toneladas**

Operación	Tiempo observado (minutos)			(min)	Tiempo promedio (minutos)	
	1	2	3			
Cortado	Corte estructura	468	467	470	1405	468,3
	Corte para forrado de techo	92	100	93	285	95,0
	Corte para forrado de estructura	124	123	123	370	123,3
	Corta para forrado de puertas	109	109	109	327	109,0
	Traslado de piezas al área de dobléz	363	369	367	1 099	366,3
Dobléz	Dobléz estructura	605	608	606	1 819	606,3
	Traslado de piezas al área de armado	214	219	213	646	215,3
Pintado con anticorrosivo	Anticorrosivo de estructura	253	254	260	767	255,7
	Anticorrosivo de tubos	246	248	249	743	247,7
	Anticorrosivo piso	193	202	194	589	196,3
	Traslado de piezas al área de armado	183	182	180	545	181,7
Armado	Armado de estructura	4 214	4 210	4215	12 639	4 213
	Ensamble	640	635	645	1 920	640
	Armado de puertas	730	735	740	2 205	735
Forrado	Forrado de piso estriado	614	609	607	1 830	610,0
	Forrado de estructura	244	249	250	743	247,7
	Forrado de techo	189	194	186	569	189,7
	Forrado de puerta	214	204	204	622	207,3
	Traslado al área de pintado	309	302	309	920	306,7
Pintado	Lijado y acondicionado	312	313	321	946	315,3
	Pintado	186	187	188	561	187,0
Colocado de accesorios	Colocado de jebe J	304	306	300	910	303,3
	Fijación de guardafangos	48	58	50	156	52,0
	Colocado de faros	151	150	153	454	151,3
	Montado de puertas	420	426	425	1 271	423,7
	Seguros de puerta	332	339	338	1 009	336,3
	Colocado de abrazaderas	374	381	380	1 135	378,3
Instalación de sistema eléctrico	Instalación	318	317	319	954	318,0
Total		12 460	12 502	12 477		12 479,7

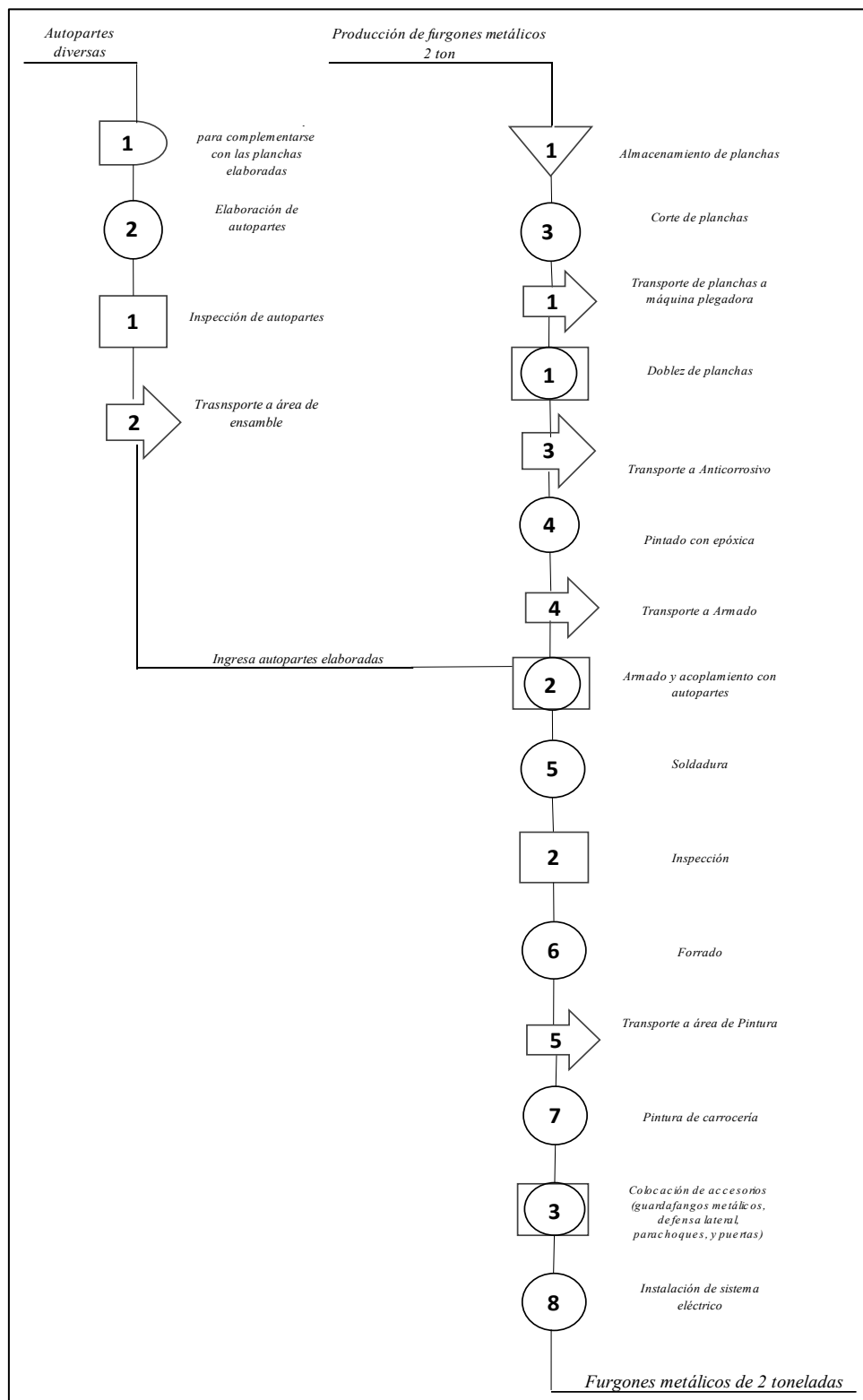
**Fuente:** Elaboración propia en base a Empresa Metalmecánica

## Anexo 10. Diagrama de operaciones del proceso



Fuente: Elaboración propia en base a Empresa Metalmecánica

**Anexo 11. Diagrama de análisis del proceso**



**Fuente:** Elaboración propia en base a Empresa Metalmecánica

## Anexo 12. Consolidado de entrega de pedidos con retraso

Orden de servicio	Días contemplados de producción	Días de retraso	Precio de venta		Penalidad
OP - 007 - 23	65	7	S/ 20 000	2%	S/ 400
OP - 011 - 23	65	7	S/ 20 000	2%	S/ 400
OP - 019 - 23	65	3	S/ 20 000	1%	S/ 200
OP - 021 - 23	65	7	S/ 20 000	2%	S/ 400
OP - 023 - 23	65	9	S/ 20 000	2%	S/ 400
OP - 030 - 23	65	12	S/ 20 000	3%	S/ 600
OP - 034 - 23	65	14	S/ 20 000	4%	S/ 800
OP - 037 - 23	65	11	S/ 20 000	3%	S/ 600
OP - 048 - 23	65	15	S/ 20 000	4%	S/ 800
OP - 049 - 23	65	21	S/ 20 000	10%	S/ 2 000
OP - 052 - 23	65	22	S/ 20 000	10%	S/ 2 000
OP - 057 - 23	65	5	S/ 20 000	2%	S/ 400
OP - 062 - 23	65	10	S/ 20 000	2%	S/ 400
OP - 071 - 23	65	13	S/ 20 000	3%	S/ 600
OP - 075 - 23	65	9	S/ 20 000	2%	S/ 400
OP - 081 - 23	65	17	S/ 20 000	5%	S/ 1 000
OP - 088 - 23	65	5	S/ 20 000	1%	S/ 200
OP - 092 - 23	65	8	S/ 20 000	2%	S/ 400
OP - 094 - 23	65	3	S/ 20 000	1%	S/ 200
OP - 101 - 23	65	11	S/ 20 000	3%	S/ 600
OP - 113 - 23	65	4	S/ 20 000	1%	S/ 200
TOTAL		213			S/ 12 600

Fuente: Elaboración propia en base a Empresa Metalmecánica

## Anexo 13. Personal en etapa de armado



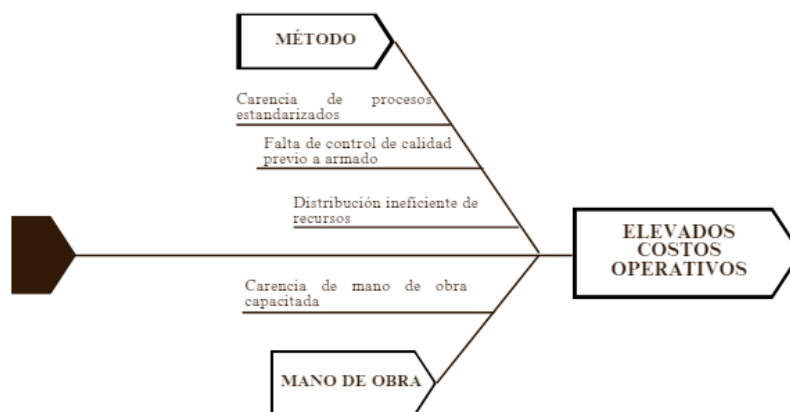
Fuente: Empresa Metalmecánica

## Anexo 14. Defectos en producto terminado

Fecha	Descripción	Horas requeridas	Costo h-h (S/)	Costo de materia prima (S/)	Costo total (S/)
6/1/2023	Cambio de chapa de puerta lateral	5	30,38	24,50	54,88
2/3/2023	Los jebes alrededor de las puertas no están correctamente instalados	11	66,83		66,83
5/4/2023	Remachado interior, mal pintado de posterior de plataforma	48	291,61	74,50	366,11
11/5/2023	Desalineación en las puertas, no cierran correctamente	12	72,90		72,90
15/5/2023	Ajuste de pernos de anclajes, colocación de pernos de anclaje	5	30,38	1,30	31,68
3/6/2023	Soldaduras incompletas en la estructura	10	60,75	13,10	73,85
19/6/2023	Deformaciones por pieza mal doblada	28	170,10		170,10
3/7/2023	Colocación de remaches	10	60,75	35,00	95,75
24/7/2023	Colocación de remaches al forro interior y puerta delantera	20	121,50	43,60	165,10
27/8/2023	Remachar forro interior y de la puerta	18	109,35	70,00	179,35
7/10/2023	La pintura presenta burbujas y áreas de descamación	14	85,05	45,00	130,05
11/11/2023	Soldaduras frágiles en la esquina del furgón	20	121,50	12,53	134,03
1/12/2023	Las luces traseras del furgón no funcionan correctamente	13	78,98		78,98
4/12/2023	Los jebes alrededor de las puertas no están correctamente instalados	15	91,13		91,13
Total		229	1 391,22	319,53	1 710,75

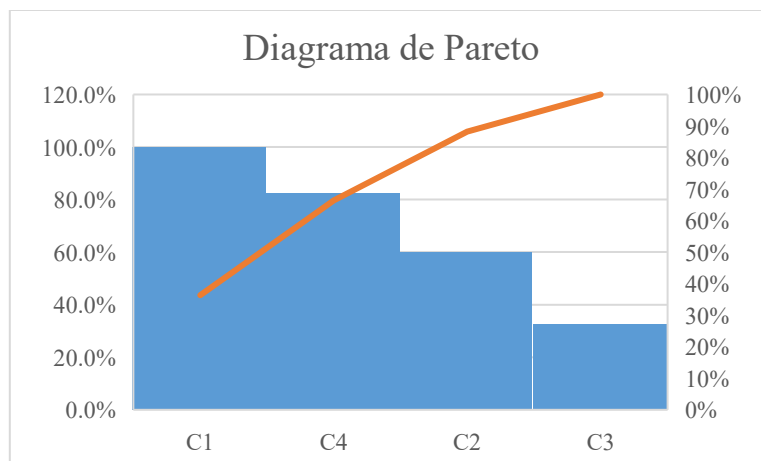
Fuente: Elaboración propia en base a Empresa Metalmecánica

## Anexo 15. Diagrama Ishikawa



Fuente: Elaboración propia

## Anexo 16. Diagrama de Pareto



### Anexo 17. Matriz de operacionalización

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
<b>V.I: Proceso productivo</b>	Comprende los procesos involucrados en la elaboración de carrocerías, desde la actividad de cortado de planchas hasta la instalación del sistema eléctrico y la instalación de accesorios.	Etapas del proceso	Tiempo de ciclo	Observación	Cronómetro
			Número de reprocesos	Análisis de proceso	Registros de producción
			Entrega de pedidos con demora	Análisis documental	Registros de garantía usadas
<b>V.D: Costos operativos</b>	Son aquellos costos que incurre la empresa metalmecánica a realizar el proceso productivo, incluyendo costos por desperdicios.	Condición económica	Costo por reprocesos	Análisis documental	Registros contables
			Costo por demoras en entregas		
			Costo de materia prima		

Fuente: Elaboración propias

### Anexo 18. Matriz de comparación de criterios AHP

Criterios	Reducción de defectos	Optimización del flujo	Estandarización de procesos	Implementación y costos	Impacto en cuello de botella	Matriz normalizada					Valor promedio	Producto de matrices
Reducción de defectos	1	1/4	1/2	1/5	1/7	0,05	0,02	0,04	0,04	0,07	0,05	0,24
Optimización del flujo	4	1	2	1/5	1/4	0,21	0,09	0,17	0,04	0,13	0,13	0,66
Estandarización de procesos	2	1/2	1	1/3	1/5	0,11	0,05	0,09	0,07	0,10	0,08	0,43
Implementación y costos	5	5	3	1	1/3	0,26	0,47	0,26	0,21	0,17	0,27	1,56
Impacto en cuello de botella	7	4	5	3	1	0,37	0,37	0,43	0,63	0,52	0,47	2,55
<b>Total</b>	<b>19,0</b>	<b>10,8</b>	<b>11,5</b>	<b>4,7</b>	<b>1,9</b>							<b>5,44</b>

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 19. Indicadores de AHP

Indicadores		
IC	$(n(\max)-n)/(n-1)$	0,110
IA	$(1,98 \times (n-2))/n$	1,188
RC	IC/IA	0,092

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 20. Comparación de opciones por criterios

Criterio: Reducción de defectos							
Opciones	Lean Manufacturing	Six sigma	Teoría de restricciones	Matriz normalizada			Valor promedio
Lean Manufacturing	1	1/5	1/3	0,11	0,13	0,08	0,11
Six sigma	5	1	3	0,56	0,65	0,69	0,63
Teoría de restricciones	3	1/3	1	0,33	0,22	0,23	0,26
	<b>9,0</b>	<b>1,5</b>	<b>4,3</b>				

Fuente: Elaboración propia

Criterio: Optimización de flujo							
Opciones	Lean Manufacturing	Six sigma	Teoría de restricciones	Matriz normalizada			Valor promedio
Lean Manufacturing	1	3	1/3	0,11	1,96	0,08	0,71
Six sigma	1/3	1	1/5	0,04	0,65	0,05	0,25
Teoría de restricciones	3	5	1	0,33	3,26	0,23	1,27
	<b>4,3</b>	<b>9,0</b>	<b>1,5</b>				

Fuente: Elaboración propia

Criterio: Estandarización de procesos							
	Lean Manufacturing	Six sigma	Teoría de restricciones	Matriz normalizada			Valor promedio
Lean Manufacturing	1	1/3	3	0,11	0,22	0,69	0,34
Six sigma	3	1	5	0,33	0,65	1,15	0,71
Teoría de restricciones	1/3	1/5	1	0,04	0,13	0,23	0,13
	<b>4,3</b>	<b>1,5</b>	<b>9,0</b>				

Fuente: Elaboración propia

Criterio: Implementación y costos							
	Lean Manufacturing	Six sigma	Teoría de restricciones	Matriz normalizada			Valor promedio
Lean Manufacturing	1	3	1/3	0,11	1,96	0,08	0,71
Six sigma	1/3	1	1/5	0,04	0,65	0,05	0,25
Teoría de restricciones	3	5	1	0,33	3,26	0,23	1,27
	<b>4,3</b>	<b>9,0</b>	<b>1,5</b>				

Fuente: Elaboración propia

<b>Criterio: Impacto en cuello de botella</b>								
	Lean Manufacturing	Six sigma	Teoría de restricciones	Matriz normalizada			Valor promedio	
Lean Manufacturing	1	1/3	1/5	0,11	0,22	0,05	0,12	
Six sigma	3	1	1/3	0,33	0,65	0,08	0,35	
Teoría de restricciones	5	3	1	0,56	1,96	0,23	0,91	
	<b>9,0</b>	<b>4,3</b>	<b>1,5</b>					

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 21. Puntaje obtenido por opciones

	Reducción de defectos	Optimización del flujo	Estandarización	Implementación y costos	Impacto en cuello de botella	Total
Lean Manufacturing	0,11	0,71	0,34	0,71	0,12	0,38
Six sigma	0,63	0,25	0,71	0,25	0,35	0,35
Teoría de restricciones	0,26	1,27	0,13	1,27	0,91	0,96
<b>Ponderación</b>	0,05	0,13	0,08	0,27	0,47	

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 22. Actividades que se realizan en la etapa de armado

Actividad	Tiempo (min)	¿Agrega valor?	¿No agrega valor pero es necesario?	¿No agrega valor pero es evitable?
<b>Preparación del área de trabajo</b>	<b>510</b>			
El operario recibe los planos de montaje	45		x	
Preparación del espacio de trabajo	140		x	
Identificación de perfiles	90	x		
Verificación de medidas reales con las medidas especificadas	85		x	
Selección y corte de tubos según las medidas	150			x
<b>Armado de plataforma</b>	<b>1 260</b>			
Enderezado de largueros con equipo oxicorte y combo	95			x
Bisela de empates y ajuste de largueros	90			x
Ensamble de perfiles	230	x		
Posicionamiento de largueros en paralelo según plano de montaje	43	x		
Ubicación y apuntalado de puentes con soldadura	105	x		
Verificación de escuadrado del falso chasis	75			x
Apuntalado de templadores para evitar descuadre	110			x
Colocación de la plataforma a una altura adecuada para el trabajo.	90		x	
Búsqueda de cuñas de madera	43			x
Nivelación de la plataforma con nivel imantado y cuñas de madera.	65		x	
Apuntalado de los muertos y estructura en "U" según el plano de montaje.	70	x		
Colocación de anclajes y patas de apoyo en los durmientes y muertos	110	x		
Fijación de anclajes y patas de gallo en los durmientes y muertos según el orden especificado.	134	x		
<b>Armado de laterales</b>	<b>665</b>			
Empate o pieza de perfiles laterales de marco superior e inferior.	95	x		
Armado de marcos laterales y tubos según el plano.	225	x		
Verificación de escuadrado de los laterales	85			x
Apuntalado de templadores en las esquinas del rectángulo.	120			x
Apuntalado de tubos centrales, omegas y poste de puerta lateral según el plano.	140	x		
<b>Armado de frontal</b>	<b>670</b>			
Destajar el marco frontal superior y postes frontales según plano	95	x		
Amar la autoparte frontal según plano formando el rectángulo.	230	x		
Corroborar el escuadrado del frontal midiendo las diagonales.	80			x
Apuntalar templadores en las esquinas para evitar descuadres.	115		x	
Apuntalar los tubos centrales y omega según plano.	150	x		

<b>Armado de posterior</b>	<b>530</b>			
Destajar los postes posteriores según plano	110	x		
Armado marco posterior según plano formando el rectángulo.	230	x		
Corroborar el escuadrado del posterior midiendo las diagonales	70			x
Apuntalar templadores en las esquinas para evitar descuadres.	120		x	
<b>Armado de techo</b>	<b>578</b>			
Destajar los perfiles de techo según plano	83	x		
Armado marco posterior según plano formando el rectángulo.	230	x		
Corroborar el escuadrado del posterior midiendo las diagonales	75			x
Apuntalar templadores en las esquinas para evitar descuadres.	60		x	
Apuntalar los tubos centrales y colocarlos de acuerdo con la distribución indicada en el plano	130	x		
<b>Ensamble</b>	<b>640</b>			
Verificar que todas las autopartes estén correctamente resoldadas.	80			x
Ensamblar la plataforma con los laterales, encajonando y apuntalando adecuadamente.	230	x		
Colocar las autopartes frontal y posterior en su posición, encajonando y apuntalando con la ayuda de una prensa.	120	x		
Acoplar el techo ya resoldado, ajustándolo y apuntalándolo	90	x		
Resoldar todas las partes ensambladas.	120		x	
<b>Armado de puertas posteriores</b>	<b>370</b>			
Cortar los tubos del marco de puerta según medida y ángulo especificados	120		x	
Dejar la luz adecuada para el sellado hermético.	40	x		
Apuntalar los refuerzos y colocar las bisagras.	95	x		
Colocar las trabas galvanizadas y empernar las abrazaderas.	65	x		
Apuntalar la manija y asegurar los cerrojos tipo contenedor.	50	x		
<b>Armado de puerta lateral con Bisagras</b>	<b>365</b>			
Cortar los tubos del marco de puerta según medida y ángulo especificados	90		x	
Dejar la luz adecuada para el sellado hermético.	40	x		
Apuntalar los refuerzos y colocar las bisagras.	110		x	
Colocar las bisagras en el poste de puerta lateral y reforzar con platinas.	55	x		
Apuntalar la manija y asegurar los cerrojos tipo contenedor.	70	x		
<b>Total</b>	<b>5 588</b>			

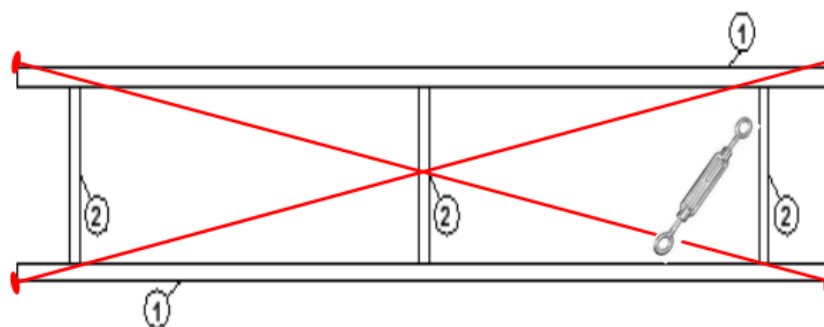
Fuente: Elaboración propia

### Anexo 23. Tiempos que no agregan valor

Actividad	Tiempo (min)	Observación
<b>Preparación del área de trabajo</b>	<b>370</b>	
El operario recibe los planos de montaje	45	
Identificación de perfiles	90	
Verificación de medidas reales con las medidas especificadas	85	
Selección y corte de tubos según las medidas	150	Muchas veces hay reproceso, es decir se debe cortar de nuevo
<b>Armado de plataforma</b>	<b>568</b>	
Enderezado de largueros con equipo oxicorte y combo	95	Para el ajuste se utiliza una regla de aluminio
Bisela de empates y ajuste de largueros	90	Para el ajuste se utiliza una regla de aluminio
Verificación de escuadrado del falso chasis	75	Medir diagonales para verificar que los marcos estén cuadrados.
Apuntalado de templadores para evitar descuadre	110	
Colocación de la plataforma a una altura adecuada para el trabajo.	90	
Búsqueda de cuñas de madera	43	
Nivelación de la plataforma con nivel imantado y cuñas de madera.	65	
<b>Armado de laterales</b>	<b>205</b>	
Verificación de escuadrado de los laterales	85	Medir diagonales para verificar que los marcos estén cuadrados.
Apuntalado de templadores en las esquinas del rectángulo.	120	
<b>Armado de frontal</b>	<b>195</b>	
Corroborar el escuadrado del frontal midiendo las diagonales.	80	Medir diagonales para verificar que los marcos estén cuadrados.
Apuntalar templadores en las esquinas para evitar descuadres.	115	
<b>Armado de posterior</b>	<b>190</b>	
Corroborar el escuadrado del posterior midiendo las diagonales	70	Medir diagonales para verificar que los marcos estén cuadrados.
Apuntalar templadores en las esquinas para evitar descuadres.	120	
<b>Ensamble</b>	<b>200</b>	
Verificar que todas las autopartes estén correctamente resoldadas.	80	
Resoldar todas las partes ensambladas.	120	
<b>Armado de puertas posteriores</b>	<b>120</b>	
Cortar los tubos del marco de puerta según medida y ángulo especificados	120	
<b>Armado de puerta lateral con bisagras</b>	<b>90</b>	
Cortar los tubos del marco de puerta según medida y ángulo especificados	90	
<b>Total</b>	<b>1 938</b>	



Fuente: Elaboración propia

## Anexo 24. Medición actual de los ángulos





Fuente: Elaboración propia

## Anexo 25. Medidores de ángulos digitales

Imagen referencial		
Marca	Bosch	Shahe
Modelo	GAM 220 MF	40MM2
Rango de medición	0-220°	0-225°
Precisión de medición de ángulos	±0,1°	±0,5°
Suministro de energía	4 pilas AA	1 pila AA
Precio (S/)	890	275

Fuente: Elaboración propia en base a fabricantes

## Anexo 26. Nivel láser de línea

Imagen referencial		
Marca	Bosch	Dewalt
Modelo	GLT3	Dw089k
Rango de medición	0-90°	0-90°
Precisión	±0,2 mm	±3 mm
Suministro de energía	4 baterías AA	4 baterías AA
Precio (S/)	690	959

Fuente: Elaboración propia en base a fabricantes

## Anexo 27. Comparación de Tablet industrial

Criterio / Opción	Panasonic Toughbook FZ-G2	Getac F110 G6
Robustez y durabilidad	Certificación MIL-STD-810H y IP65 (Protección contra polvo y agua)	Certificación MIL-STD-810H y IP66 (Mejor protección contra chorros de agua potentes).
Visibilidad de pantalla	Pantalla de 10,1" (hasta 1 000 nits)	Pantalla de 11,6" (hasta 1 000 nits).
Sistema operativo	Windows 11 Pro	Windows 11 Pro
Conectividad	Wi-Fi 6	Wi-Fi 6E
Precio	S/ 10,832.65	S/ 13,033.08

Fuente: Elaboración propia en base a fabricantes

## Anexo 28. Procedimiento para verificación de ángulo y apuntado

<b>Procedimiento para Verificación de ángulos y apuntado</b>
<p><b>Alcance</b></p> <p>Este procedimiento está destinado a los operarios encargados del armado de estructuras en la producción de carrocerías, específicamente para verificar y apuntalar las piezas usando un medidor de ángulos digital y un nivel láser.</p>
<p><b>Objetivo</b></p> <p>El objetivo de este procedimiento es asegurar que todas las estructuras (frontal, posterior, techo, etc.) estén correctamente escuadradas y alineadas durante el proceso de ensamblaje, utilizando herramientas de medición precisas para mejorar la calidad del producto final y la eficiencia del proceso</p>
<p><b>Herramientas necesarias</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Medidor de ángulos digital</li> <li>2. Nivel láser de línea cruzada</li> <li>3. Regla de aluminio</li> <li>4. Soldadora</li> <li>5. Prensa</li> <li>6. Wincha</li> </ol>
<p><b>Material necesario:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Templadores (retazos, sobrantes de cualquier tubo)</li> </ol>
<p><b>Procedimiento</b></p> <p><b>1. Preparación</b></p> <p><b>Revisar planos:</b> Asegurarse de tener los planos detallados y las especificaciones a la mano.</p> <p><b>Verificar herramientas:</b> Asegurarse de que el medidor de ángulos digital y el nivel láser estén correctamente calibrados.</p> <p><b>2. Armado Inicial</b></p> <p><b>Formar el Rectángulo:</b> Arma la estructura (frontal, posterior, techo, etc.) según los planos, utilizando las herramientas básicas.</p> <p><b>Unión Inicial:</b> Realiza una unión preliminar de las piezas sin soldar completamente para facilitar ajustes posteriores.</p> <p><b>3. Verificación de alineación y ángulos</b></p> <p><b>Colocar Nivel Láser:</b> Configura el nivel láser en un lugar estable y asegúrate de que esté nivelado. Proyecta el láser a lo largo de las líneas principales de la estructura para verificar la alineación horizontal y vertical.</p> <p><b>Medidor de Ángulos Digital:</b> Usa el medidor de ángulos digital para confirmar que los ángulos son correctos. Si el medidor muestra alguna desviación, ajusta las piezas en</p> <p><b>4. Apuntado Inicial</b></p> <p><b>Colocar Templadores:</b> Apunta templadores en las esquinas del rectángulo para evitar que se desesquadre durante la manipulación. Usa las prensas para sujetar firmemente las piezas.</p> <p><b>Verificación con Nivel Láser:</b> Utiliza el nivel láser para asegurarse de que los templadores y las piezas estén alineados correctamente.</p> <p><b>Verificación Posterior:</b> Después de apuntalar, vuelve a medir los ángulos con el medidor de ángulos digital para asegurar de que las piezas estén correctamente posicionadas.</p> <p><b>5. Fijación Final</b></p> <p><b>Soldadura Final:</b> Una vez que todo esté verificado y escuadrado, realizar la soldadura final para fijar todas las piezas en su lugar.</p> <p><b>Revisión Final con Herramientas Digitales:</b> Realizar una última verificación utilizando el medidor de ángulos digital y el nivel láser para asegurar que todas las piezas estén correctamente alineadas y escuadradas.</p>
<p><b>Notas</b></p> <p><b>Calibración de Herramientas:</b> Asegúrese de que todas las herramientas estén calibradas y en buen estado antes de comenzar el procedimiento.</p> <p><b>Seguridad:</b> Utilizar equipo de protección personal (EPP) adecuado en todo momento, incluyendo guantes, gafas de seguridad y protección auditiva.</p>

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 29. Actividades en el proceso del armado después de explotar la restricción

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo (min)</b>
<b>Preparación del área de trabajo</b>	<b>410</b>
Preparación del espacio de trabajo	140
Identificación de perfiles	90
Verificación de medidas reales con las medidas especificadas	30
Selección y corte de tubos según las medidas	150
<b>Armado de plataforma</b>	<b>1 105</b>
Enderezado de largueros con equipo oxicorte y combo	95
Bisela de empates y ajuste de largueros	90
Ensamble de perfiles	230
Posicionamiento de largueros en paralelo según plano de montaje	43
Ubicación y apuntalado de puentes con soldadura	105
Verificación de escuadrado del falso chasis y apuntalado	30
Colocación de la plataforma a una altura adecuada para el trabajo.	90
Búsqueda de cuñas de madera	43
Nivelación de la plataforma con nivel imantado y cuñas de madera.	65
Apuntalado de los muertos y estructura en "U" según el plano de montaje.	70
Colocación de anclajes y patas de gallo según el plano de montaje.	110
Fijación de anclajes y patas de gallo en los durmientes y muertos según el orden especificado.	134
<b>Armado de laterales</b>	<b>490</b>
Empate o pieza de perfiles laterales de marco superior e inferior.	95
Armado de marcos laterales y tubos según el plano.	225
Verificación de escuadrado de los laterales y apuntalado de templadores	30
Apuntalado de tubos centrales, omegas y poste de puerta lateral según el plano.	140
<b>Armado de frontal</b>	<b>505</b>
Destajar el marco frontal superior y postes frontales según plano	95
Armar la autoparte frontal según plano formando el rectángulo.	230
Verificación de escuadrado del frontal y apuntalado de templadores	30
Apuntalar los tubos centrales y omega según plano.	150

<b>Armado de posterior</b>	<b>370</b>
Destajar los postes posteriores según plano	110
Armar marco posterior según plano formando el rectángulo.	230
Verificación de escuadrado de posterior y apuntalado de templadores	30
<b>Armado de techo</b>	<b>473</b>
Destajar los perfiles de techo según plano	83
Armar marco posterior según plano formando el rectángulo.	230
Verificación de escuadrado de techo y apuntalado de templadores	30
Apuntalar los tubos centrales y colocarlos de acuerdo a la distribución indicada en el plano	130
<b>Ensamble</b>	<b>640</b>
Verificar que todas las autopartes estén correctamente resoldadas.	80
Ensamblar la plataforma con los laterales, encajonando y apuntalando adecuadamente.	230
Colocar las autopartes frontal y posterior en su posición, encajonando y apuntalando con la ayuda de una prensa.	120
Acoplar el techo ya resoldado, ajustándolo y apuntalándolo	90
Resoldar todas las partes ensambladas.	120
<b>Armado de puertas posteriores</b>	<b>370</b>
Cortar los tubos del marco de puerta según medida y ángulo especificados	120
Dejar la luz adecuada para el sellado hermético.	40
Apuntalar los refuerzos y colocar las bisagras.	95
Colocar las trabas galvanizadas y empernar las abrazaderas.	65
Apuntalar la manija y asegurar los cerrojos tipo contenedor.	50
<b>Armado de puerta lateral con Bisagras</b>	<b>365</b>
Cortar los tubos del marco de puerta según medida y ángulo especificados	90
Dejar la luz adecuada para el sellado hermético.	40
Apuntalar los refuerzos y colocar las bisagras.	110
Colocar las bisagras en el poste de puerta lateral y reforzar con platinas.	55
Apuntalar la manija y asegurar los cerrojos tipo contenedor.	70
<b>Total</b>	<b>4728</b>

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 30. Procedimiento de control de calidad para piezas cortadas y dobladas

Procedimiento de Control de Calidad para Piezas Cortadas y Dobladadas						
<b>Objetivo</b>						
El objetivo de este procedimiento es Asegurar que todas las piezas cortadas y dobladas cumplan con las especificaciones de calidad antes de ser utilizadas en el proceso de armado.						
<b>Alcance</b>						
Este procedimiento está destinado a los operarios encargados del cortado y doblado de las piezas, asimismo, para el inspector de calidad y supervisor de producción						
<b>Responsables</b>						
<b>Inspector de calidad:</b> Responsable de realizar las inspecciones y documentar los resultados.						
<b>Supervisor de producción:</b> Responsable de coordinar las actividades de inspección y asegurar el cumplimiento de los procedimientos.						
<b>Operarios de corte y doblado:</b> Responsables de entregar las piezas para inspección y						
<b>Equipos y herramientas necesarias</b>						
1. Calibrador vernier						
2. Escuadra de precisión						
3. Regla de aluminio						
4. Plantillas y guías específicas para cada pieza						
5. Equipo de protección personal (EPP)						
<b>Procedimiento</b>						
<b>1. Preparación</b>						
<b>Equipo y herramientas:</b> Asegurar que todas las herramientas de medición estén calibradas y en buen estado.						
<b>EPP:</b> Asegurar que el inspector y los operarios utilicen el equipo de protección personal adecuado.						
<b>2. Recepción de piezas</b>						
<b>Entrega de piezas:</b> Los operarios de corte y doblado entregan las piezas terminadas al área de inspección de calidad.						
<b>Identificación:</b> Marcar cada pieza con una identificación única para rastrear el proceso de inspección.						
<b>3. Inspección visual</b>						
<b>Revisión de superficies:</b> Inspeccionar visualmente cada pieza para identificar defectos visibles como grietas, rebabas, o deformaciones.						
<b>Limpieza:</b> Asegurarse de que las superficies estén limpias que puedan afectar la inspección.						
<b>4. Inspección dimensional</b>						
<b>Medición de dimensiones:</b> Usar el calibrador Vernier y la regla de medición para verificar que las dimensiones de cada pieza coincidan con las especificaciones del plano.						
<b>Verificación de ángulos:</b> Usar la escuadra de precisión para verificar que los ángulos de las piezas dobladas estén correctos.						
<b>Plantillas y guías:</b> Utilizar plantillas y guías específicas para comparar la forma de las piezas con las especificaciones.						
<b>5. Registro de resultados</b>						
<b>Formato de inspección:</b> Registrar los resultados de cada inspección en un formato de registro, indicando la identificación de la pieza, las medidas tomadas, y cualquier defecto encontrado.						
<b>Documentación fotográfica:</b> Tomar fotografías de cualquier defecto significativo para documentar y facilitar la corrección.						
<b>6. Acciones correctivas</b>						
<b>Notificación:</b> Informar inmediatamente a los operarios y al supervisor de producción sobre cualquier defecto encontrado.						
<b>Corrección:</b> Los operarios deben corregir las piezas defectuosas y volver a presentarlas para inspección.						
<b>Reinspección:</b> Realizar una reinspección de las piezas corregidas para asegurar que cumplen						
<b>7. Liberación de piezas</b>						
<b>Aprobación:</b> Las piezas que cumplen con todas las especificaciones son aprobadas y liberadas para la siguiente etapa del proceso de armado.						
<b>Etiquetado:</b> Marcar las piezas aprobadas con una etiqueta de "Aprobado" para facilitar su identificación.						
<b>8. Reporte final</b>						
<b>Resumen de inspección:</b> Preparar un reporte final de la inspección diaria, incluyendo un resumen de las piezas inspeccionadas, la cantidad de piezas aprobadas y rechazadas, y cualquier observación relevante.						
<b>Comunicación:</b> Enviar el reporte final al supervisor de producción y al equipo de gestión de calidad.						
<b>Notas</b>						
<b>Calibración de Herramientas:</b> Asegurarse de que todas las herramientas estén calibradas y en buen estado antes de comenzar el procedimiento.						
<b>Seguridad:</b> Utilizar equipo de protección personal (EPP) adecuado en todo momento, incluyendo guantes, gafas de seguridad y protección auditiva.						
<b>Formato</b>						
Formato de Registro de Inspección						
Orden de pedido	Dimensión A	Dimensión B	Ángulo	Defectos Encontrados	Acción Correctiva	Aprobación (Si/No)

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 31. Actividades en el proceso del armado después de subordinar

Actividad	Tiempo (min)
<b>Preparación del área de trabajo</b>	<b>220</b>
Preparación del espacio de trabajo	140
Identificación de perfiles por número de orden	80
<b>Armado de plataforma</b>	<b>967</b>
Bisela de empates y ajuste de largueros	90
Ensamble de perfiles	230
Posicionamiento de largueros en paralelo según plano de montaje	43
Ubicación y apuntalado de puentes con soldadura	105
Verificación de escuadrado del falso chasis y apuntalado	30
Colocación de la plataforma a una altura adecuada para el trabajo.	90
Nivelación de la plataforma con nivel imantado y cuñas de madera.	65
Apuntalado de los muertos y estructura en "U" según el plano de montaje.	70
Colocación de anclajes y patas de gallo según el plano de montaje.	110
Fijación de anclajes y patas de gallo en los durmientes y muertos según el orden especificado.	134
<b>Armado de laterales</b>	<b>490</b>
Empate o pieza de perfiles laterales de marco superior e inferior.	95
Armado de marcos laterales y tubos según el plano.	225
Verificación de escuadrado de los laterales y apuntalado de templadores	30
Apuntalado de tubos centrales, omegas y poste de puerta lateral según el plano.	140
<b>Armado de frontal</b>	<b>505</b>
Destajar el marco frontal superior y postes frontales según plano	95
Armar la autoparte frontal según plano formando el rectángulo.	230
Verificación de escuadrado del frontal y apuntalado de templadores	30
Apuntalar los tubos centrales y omega según plano.	150
<b>Armado de posterior</b>	<b>370</b>
Destajar los postes posteriores según plano	110
Armar marco posterior según plano formando el rectángulo.	230
Verificación de escuadrado de posterior y apuntalado de templadores	30
<b>Armado de techo</b>	<b>473</b>
Destajar los perfiles de techo según plano	83
Armar marco posterior según plano formando el rectángulo.	230
Verificación de escuadrado de techo y apuntalado de templadores	30
Apuntalar los tubos centrales y colocarlos de acuerdo a la distribución indicada en el plano	130
<b>Ensamble</b>	<b>640</b>
Verificar que todas las autopartes estén correctamente resoldadas.	80
Ensamblar la plataforma con los laterales, encajonando y apuntalando adecuadamente.	230
Colocar las autopartes frontal y posterior en su posición, encajonando y apuntalando con la ayuda de una prensa.	120
Acoplar el techo ya resoldado, ajustándolo y apuntalándolo	90
Resoldar todas las partes ensambladas.	120
<b>Armado de puertas posteriores</b>	<b>250</b>
Dejar la luz adecuada para el sellado hermético.	40
Apuntalar los refuerzos y colocar las bisagras.	95
Colocar las trabas galvanizadas y empernar las abrazaderas.	65
Apuntalar la manija y asegurar los cerrojos tipo contenedor.	50
<b>Armado de puerta lateral con Bisagras</b>	<b>275</b>
Dejar la luz adecuada para el sellado hermético.	40
Apuntalar los refuerzos y colocar las bisagras.	110
Colocar las bisagras en el poste de puerta lateral y reforzar con platinas.	55
Apuntalar la manija y asegurar los cerrojos tipo contenedor.	70
<b>Total</b>	<b>4190</b>

**Fuente:** Elaboración propia

## Anexo 32. Plan de capacitación

### PLAN DE CAPACITACIÓN

#### 1. Alcance

Este plan de capacitación está diseñado para todos los niveles de la organización, desde la alta dirección hasta los operarios de planta, en una empresa metalmeccánica ubicada en Trujillo.

#### 2. Objetivo General

- Capacitar al personal de la empresa metalmeccánica en la metodología de la Teoría de Restricciones (TOC) para optimizar su proceso productivo, mejorar la eficiencia operativa y reducir costos. Asimismo, en las habilidades para el empleo y la salud y seguridad en el ámbito laboral.

#### 3. Objetivos específicos

- Identificar y analizar restricciones en el proceso productivo
- Desarrollar estrategias para superar las restricciones
- Mejorar la capacidad de toma de decisiones

#### 4. Justificación

El desarrollo del talento humano es fundamental para el éxito y la competitividad de cualquier empresa, es por eso que este plan permitirá al personal adquirir conocimientos y habilidades clave para identificar y gestionar las limitaciones en el proceso productivo.

#### 5. Temas

Los temas que se dictaran a lo largo del curso son los siguientes:

Institución	Sesión	Tema	Horas
Udemy	1	<b>Introducción a teoría de restricciones</b>	<b>0.5</b>
		1.1. Principios de la teoría de restricciones	
		1.2. Medidas de desempeño y los 5 pasos TOC	
		1.3. Capacidad y cuellos de botella	
		1.4. Cuestionario de 5 preguntas	
Udemy	2	<b>Aplicación practica de TOC, costos y resultados</b>	<b>0.67</b>
		2.1 Configuración y condiciones completas planta P y Q	
		2.2. Esquema tradicional de cálculos vs capacidad TOC	
		2.3. Decisión sobre que producto priorizar	
		2.4. Revisión de varios escenarios (se pide a comercial más demanda de Q)	
		2.5. Arbitrariamente producirémos P	
		2.6. Resumen y resultados planta P y Q	
MTPE	3	<b>Habilidades para el empleo</b>	<b>30</b>
		3.1. Liderazgo	
		3.2. Comunicación	
		3.3. Productividad	
		3.4. Gestión de conflictos	
		3.5. Trabajo en equipo	
		3.6. Cambio y mejora continua	
Udemy	5	<b>Curso de sistema CAD</b>	<b>24.5</b>
		5.1 Conceptos básicos	
		5.2 Part Studios	
		5.3 Herramientas para crear modelos 3D	
		5.4 Planos	
		5.5 Ensamble básico	
		5.6 Herramientas 3D	
		5.7 Estructuras	
		5.8 Chapa Metalica	
		5.9 Proyecto motor	

#### 6. Cronograma

El cronograma de la capacitación se muestra a continuación:

N° Sesión	Mes 1				Mes 2			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
1	X							
2		X						
3			X					
4				X				
5					X			
6						X		
7							X	
8								X

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 33. Plan de monitoreo del plan de capacitación

### PLAN DE MONITOREO

#### 1. Alcance

El monitoreo abarca todas las etapas del plan de capacitación: planificación, ejecución y evaluación. Se aplicará a todos los participantes y capacitadores involucrados durante el período programado en la empresa metalmecánica de Trujillo

#### 2. Objetivo General

Evaluar el cumplimiento y la efectividad del plan de capacitación en Teoría de Restricciones, Habilidades para el Empleo y Sistema CAD (Onshape), asegurando la adquisición de competencias técnicas y blandas que contribuyan a la mejora de la productividad en la empresa.

#### 3. Objetivos específicos

- Verificar el cumplimiento del cronograma y la asistencia de los participantes durante las sesiones.
- Evaluar el nivel de aprendizaje adquirido en cada módulo mediante instrumentos de medición.
- Medir la satisfacción de los participantes respecto al contenido, metodología y desempeño del capacitador

#### 4. Responsables

Cargo / Rol	Función dentro del monitoreo
Coordinador de Capacitación / Capacitadores especializados	Supervisar la ejecución del plan de monitoreo y consolidar los resultados. Registrar asistencia, aplicar evaluaciones y realizar seguimiento del aprendizaje.
Supervisor de área	Observar la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos por los
Participantes	Asistir a las sesiones, cumplir con las actividades y brindar retroalimentación.

#### 5. Indicadores de monitoreo

Dimensión	Indicador	Fórmula / Método de cálculo	Frecuencia	Responsable
Cumplimiento	% de sesiones desarrolladas	$(\text{Sesiones ejecutadas} / \text{Sesiones programadas}) \times 100$	Semanal	RR.HH.
Asistencia	% de asistencia promedio	$(\text{Asistentes} / \text{Convocados}) \times 100$	Por sesión	Capacitador
Satisfacción	Nivel de satisfacción general	Encuesta de satisfacción (escala 1-5)	Al cierre de cada módulo	RR.HH.
Aprendizaje	Incremento en conocimiento teórico y	$(\text{Nota final} - \text{Nota inicial}) / \text{Nota inicial} \times 100$	Al inicio y final de cada módulo	Capacitador
Aplicación práctica	% de participantes que aplican lo aprendido	Observación en el puesto de trabajo	Un mes después	Supervisor de área

#### 6. Cronograma

N° Sesión	Mes 1				Mes 2			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
1	X							
2		X						
3			X					
4				X				
5					X			
6						X		
7							X	
8								X

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 34. Actividades en el proceso del armado después de elevar la restricción

Actividad	Tiempo (min)
<b>Preparación del área de trabajo</b>	<b>150</b>
Preparación del espacio de trabajo	90
Identificación de perfiles por número de orden	60
<b>Armado de plataforma</b>	<b>844</b>
Bisela de empates y ajuste de largueros	80
Ensamble de perfiles	120
Posicionamiento de largueros en paralelo según plano de montaje	40
Ubicación y apuntalado de puentes con soldadura	105
Verificación de escuadrado del falso chasis y apuntalado	30
Colocación de la plataforma a una altura adecuada para el trabajo.	90
Nivelación de la plataforma con nivel imantado y cuñas de madera.	65
Apuntalado de los muertos y estructura en "U" según el plano de montaje.	70
Colocación de anclajes y patas de gallo según el plano de montaje.	110
Fijación de anclajes y patas de gallo en los durmientes y muertos según el orden especificado.	134
<b>Armado de laterales</b>	<b>365</b>
Empate o pieza de perfiles laterales de marco superior e inferior.	95
Armado de marcos laterales y tubos según el plano.	130
Verificación de escuadrado de los laterales y apuntalado de templadores	30
Apuntalado de tubos centrales, omegas y poste de puerta lateral según el plano.	110
<b>Armado de frontal</b>	<b>365</b>
Destajar el marco frontal superior y postes frontales según plano	95
Armar la autoparte frontal según plano formando el rectángulo.	130
Verificación de escuadrado del frontal y apuntalado de templadores	30
Apuntalar los tubos centrales y omega según plano.	110
<b>Armado de posterior</b>	<b>270</b>
Destajar los postes posteriores según plano	110
Armar marco posterior según plano formando el rectángulo.	130
Verificación de escuadrado de posterior y apuntalado de templadores	30
<b>Armado de techo</b>	<b>353</b>
Destajar los perfiles de techo según plano	83
Armar marco posterior según plano formando el rectángulo.	130
Verificación de escuadrado de techo y apuntalado de templadores	30
Apuntalar los tubos centrales y colocarlos de acuerdo a la distribución indicada en el plano	110
<b>Ensamble</b>	<b>430</b>
Verificar que todas las autopartes estén correctamente resoldadas.	80
Ensamblar la plataforma con los laterales, encajonando y apuntalando adecuadamente.	130
Colocar las autopartes frontal y posterior en su posición, encajonando y apuntalando con la ayuda de una prensa.	80
Acoplar el techo ya resoldado, ajustándolo y apuntalándolo	90
Resoldar todas las partes ensambladas.	50
<b>Armado de puertas posteriores</b>	<b>240</b>
Dejar la luz adecuada para el sellado hermético.	30
Apuntalar los refuerzos y colocar las bisagras.	95
Colocar las trabas galvanizadas y empernar las abrazaderas.	65
Apuntalar la manija y asegurar los cerrojos tipo contenedor.	50
<b>Armado de puerta lateral con Bisagras</b>	<b>255</b>
Dejar la luz adecuada para el sellado hermético.	40
Apuntalar los refuerzos y colocar las bisagras.	90
Colocar las bisagras en el poste de puerta lateral y reforzar con platinas.	55
Apuntalar la manija y asegurar los cerrojos tipo contenedor.	70
Total	<b>3272</b>

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 35. Pedidos con retrasos después de mejora**

Orden de servicio	Días contemplados de producción	Días de retraso	Precio de venta	Penalidad
OP - 004 - 23	65	8	S/ 20 000	2% S/ 400
OP - 007 - 23	65	4	S/ 20 000	1% S/ 200
OP - 011 - 23	65	4	S/ 20 000	1% S/ 200
OP - 014 - 23	65	5	S/ 20 000	1% S/ 200
OP - 017 - 23	65	5	S/ 20 000	1% S/ 200
OP - 019 - 23	65	0	S/ 20 000	S/ 0
OP - 021 - 23	65	4	S/ 20 000	1% S/ 200
OP - 023 - 23	65	6	S/ 20 000	1% S/ 200
OP - 026 - 23	65	3	S/ 20 000	1% S/ 200
OP - 030 - 23	65	9	S/ 20 000	2% S/ 400
OP - 034 - 23	65	11	S/ 20 000	3% S/ 600
OP - 037 - 23	65	8	S/ 20 000	2% S/ 400
OP - 043 - 23	65	7	S/ 20 000	2% S/ 400
OP - 048 - 23	65	12	S/ 20 000	3% S/ 600
OP - 049 - 23	65	18	S/ 20 000	5% S/ 1 000
OP - 052 - 23	65	19	S/ 20 000	5% S/ 1 000
OP - 057 - 23	65	4	S/ 20 000	1% S/ 200
OP - 062 - 23	65	5	S/ 20 000	1% S/ 200
OP - 063- 23	65	3	S/ 20 000	1% S/ 200
OP - 071- 23	65	10	S/ 20 000	2% S/ 400
OP - 075 - 23	65	6	S/ 20 000	1% S/ 200
OP - 081 - 23	65	14	S/ 20 001	4% S/ 800
OP - 088 - 23	65	2	S/ 20 000	S/ 0
OP - 092 - 23	65	5	S/ 20 000	1% S/ 200
OP - 094- 23	65	0	S/ 20 000	S/ 0
OP - 101- 23	65	8	S/ 20 000	2% S/ 400
OP - 113- 23	65	1	S/ 20 000	S/ 0
<b>TOTAL</b>		<b>169</b>		<b>S/ 8 200</b>

**Fuente:** Elaboración propia en base a Empresa Metalmecánica

**Anexo 36. Defectos en producto terminado después de la propuesta**

Fecha	Descripción	Horas requeridas	Costo hora-hombre (S/)	Costo de materia prima (S/)	Costo total (S/)
6/1/2023	Cambio de chapa de puerta lateral	6	36,45	60,00	96,45
2/3/2023	Los jebes alrededor de las puertas no están correctamente instalados	11	66,83		66,83
5/4/2023	Remachado interior, mal pintado de posterior de plataforma	48	291,61	74,50	366,11
11/5/2023	Desalineación en las puertas, no cierran correctamente	12	72,90		72,90
15/5/2023	Ajuste de pemos de anclajes, colocación de pemos de anclaje	5	30,38	10,20	40,58
3/7/2023	Colocación de remaches	10	60,75	45,00	105,75
27/8/2023	Remachar forro interior y de la puerta	18	109,35	70,00	179,35
7/10/2023	La pintura presenta burbujas y áreas de descamación	14	85,05	50,50	135,55
11/11/2023	Soldaduras frágiles en la esquina del furgón	20	121,50	16,40	137,90
1/12/2023	Las luces traseras del furgón no funcionan correctamente	13,5	82,01		82,01
4/12/2023	Los jebes alrededor de las puertas no están correctamente instalados	15	91,13		91,13
	<b>Total</b>	<b>172,5</b>	<b>1047,97</b>	<b>326,6</b>	<b>1 374,57</b>

**Fuente:** Elaboración propia en base a Empresa Metalmecánica

**Anexo 37. Costo de materiales por unidad de venta**

Material	Unidad	Precio	Índice de consumo	Monto por unidad (S/)
Plancha de acero de 1/4"	Und	60	3	180
Plancha estriada de 3/32"	Und	75	3	225
Plancha galvanizada de 1,9 mm	Und	80	3	240
Plancha galvanizada de 1/20 mm	Und	75	3	225
Plancha de aluminio (bobina)	Und	65	10	650
Tubos cuadrados de acero	Und	80	25	2000
Tubos rectangulares de acero	Und	74	15	1110
Pernos hexagonales de ½" x 1½"	Und	3,5	50	175
Tornillos autopercutorantes de 10 x ¾"	Und	0,2	250	50
Remaches pop de 3/16" x ½"	Und	0,1	400	40
Remaches de 3/16" x 1"	Und	0,1	400	40
Jebe tipo "T" de 1¼"	Und	0,8	3	2,4
Jebe tipo "J"	Und	1,14	3	3,42
Soldadura MIG	kg	55,8	5	279
Líquido acondicionador de metales	Balde	47	3	141
Pintura anticorrosiva	Galón	84	4	336
Base epóxica	Galón	140	2	280
Lija de fierro N°60	Und	1,9	5	9,5
Thinner	Galón	20,9	2	41,8
Sellador poliuretano	Und	38,9	4	155,6
Guardafangos metálicos	Par	114	2	228
Bisagras	Und	4,5	8	36
Manijas y trabas	Und	70	4	280
Faros y sistema eléctrico	Und	10	6	60
<b>Costo de materiales por unidad de venta</b>				<b>6 787,72</b>

**Fuente:** Elaboración propia en base a Empresa Metalmecánica