

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Industrial



**Propuesta de mejora para reducir los tiempos de entrega en una empresa
del rubro metalmecánico basada en las herramientas de
manufactura esbelta**

Tesis Presentada por la Bachiller:

Anampa Ormeño, Andrea Cecilia

ORCID: 0009-0003-9954-0911

para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Asesor:

Mg. Valdivia Portugal, Cesar Daniel

ORCID: 0000-0002-7405-5018

**Arequipa - Perú
2026**

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA INDUSTRIAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 07 de Octubre del 2025

Dictamen: 012383-C-EPII-2025

Visto el borrador del expediente 012383, presentado por:

2017700142 - ANAMPA ORMEÑO ANDREA CECILIA

Titulado:

**PROPUESTA DE MEJORA PARA REDUCIR LOS TIEMPOS DE ENTREGA EN UNA EMPRESA DEL
RUBRO METALMECÁNICO BASADA EN LAS HERRAMIENTAS DE MANUFACTURA ESBELTA**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO INDUSTRIAL

**29276357 - RODRIGUEZ SALAZAR OSWALDO RENE
DICTAMINADOR**



**29711324 - RIVERA CHAVEZ MARIA EUGENIA
DICTAMINADOR**



**29628917 - BUSTOS ARAPA BRAULIO ANGEL
DICTAMINADOR**



Propuesta de mejora para reducir los tiempos de entrega en una empresa del rubro metalmecánico basada en las herramientas de manufactura esbelta

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

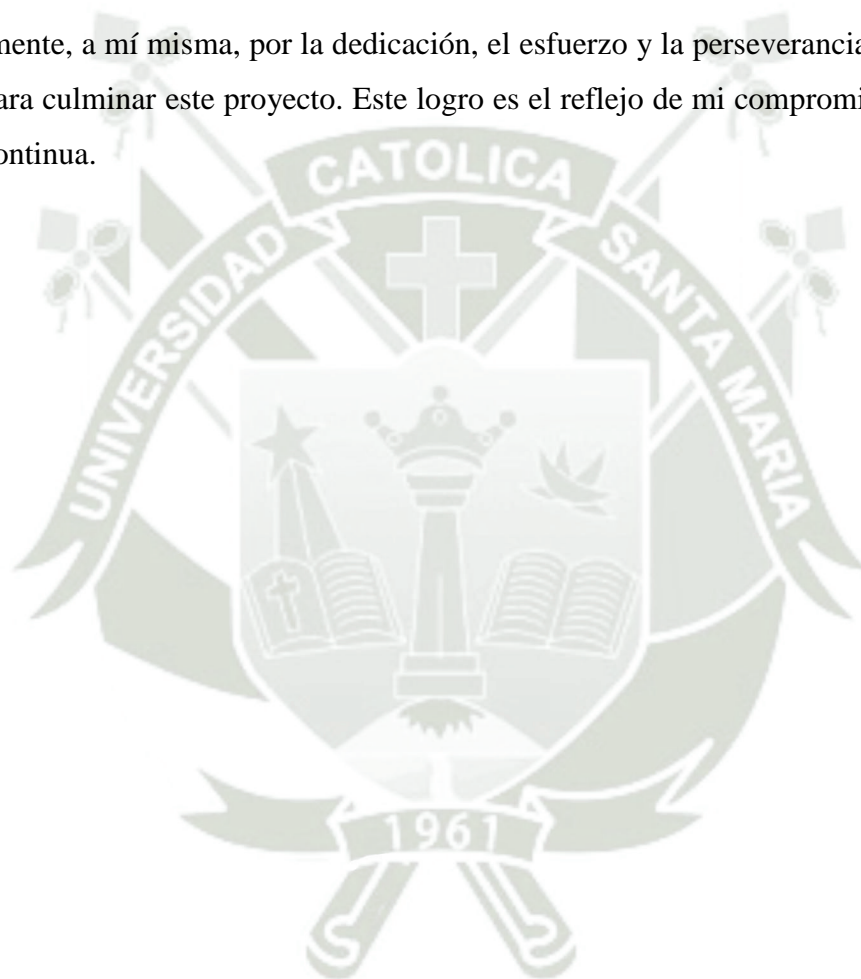
1	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	3%
2	www.coursehero.com Fuente de Internet	2%
3	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	1%
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.upse.edu.ec Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi luz y guía a lo largo de este camino. Gracias por darme la fortaleza y sabiduría necesarias para superar los retos y llegar hasta aquí.

A mi familia, por su amor incondicional y apoyo constante. A mis padres, hermana, abuelos y esa persona especial que siempre estuvo a mi lado, por su paciencia, por creer en mí en todo momento.

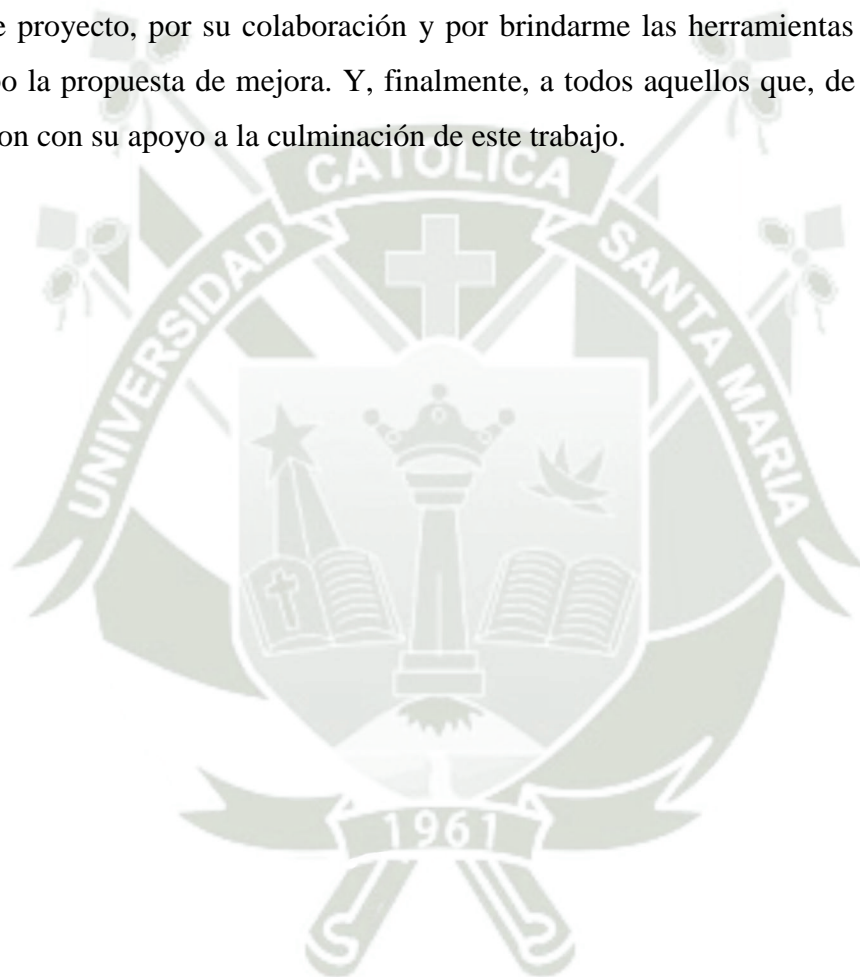
Y, finalmente, a mí misma, por la dedicación, el esfuerzo y la perseverancia con los que he trabajado para culminar este proyecto. Este logro es el reflejo de mi compromiso y pasión por la mejora continua.



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, hermana y abuelos, por su amor incondicional y apoyo constante. Gracias por estar siempre a mi lado, por su paciencia y por el aliento que me brindaron en cada etapa de este proyecto.

A mis asesores, por su valiosa orientación, por compartir su conocimiento y por ayudarme a enriquecer mi trabajo con su experiencia. También agradezco a la empresa que me permitió realizar este proyecto, por su colaboración y por brindarme las herramientas necesarias para llevar a cabo la propuesta de mejora. Y, finalmente, a todos aquellos que, de alguna manera, contribuyeron con su apoyo a la culminación de este trabajo.



RESUMEN

La industria metalmecánica se enfrenta a retos constantes en la optimización de los tiempos de entrega, un aspecto crucial para su competitividad y eficiencia. Esta investigación tiene como objetivo general diseñar una propuesta de mejora para reducir los tiempos de entrega en una empresa de fabricación de piezas industriales, mediante la aplicación de herramientas de manufactura esbelta, con un enfoque en la mejora de la productividad y la eliminación de desperdicios en los procesos.

La metodología seguida es de tipo aplicada y descriptiva, con un diseño no experimental. Las técnicas metodológicas utilizadas incluyen la observación directa en la planta y las entrevistas semiestructuradas a personal clave, como operadores de máquinas, supervisores y jefes de área. Estas técnicas permitieron recolectar información precisa sobre los problemas recurrentes, los desafíos relacionados con los tiempos de entrega y las posibles soluciones. El alcance de la investigación se centra en los procesos críticos seleccionados a través de un muestreo no probabilístico por conveniencia, con el objetivo de obtener información detallada y contextualizada.

Para el desarrollo de la propuesta de mejora, se aplicaron herramientas de manufactura esbelta como las 5S, TPM y Poka-Yoke, junto con métodos de ingeniería como el estudio de tiempos, diagramas de procesos y el análisis de causa raíz con el diagrama de Ishikawa. La implementación de estas herramientas contribuirá a la organización del espacio de trabajo, la reducción de los tiempos de espera y la mejora de la calidad. Como primera conclusión, se resalta que la propuesta tiene un impacto positivo en los tiempos de entrega, con un retorno económico de 2.33 soles por cada sol invertido, lo que justifica su viabilidad y beneficios para la empresa.

Palabras clave: Manufactura esbelta, tiempo de entrega, productividad

ABSTRACT

The metal-mechanic industry faces constant challenges in the optimization of lead times, a crucial aspect for its competitiveness and efficiency. The general objective of this research is to design an improvement proposal to reduce lead times in an industrial parts manufacturing company, through the application of lean manufacturing tools, with a focus on improving productivity and eliminating waste in the processes.

The methodology followed is applied and descriptive, with a non-experimental design. The methodological techniques used include direct observation in the plant and semi-structured interviews with key personnel, such as machine operators, supervisors and area managers. These techniques allowed the collection of accurate information on recurring problems, challenges related to delivery times and possible solutions. The scope of the research focuses on the critical processes selected through a non-probabilistic convenience sampling, with the objective of obtaining detailed and contextualized information.

For the development of the improvement proposal, lean manufacturing tools such as 5S, TPM and Poka-Yoke were applied, together with engineering methods such as time study, process diagrams and root cause analysis with the Ishikawa diagram. The implementation of these tools will contribute to the organization of the work space, the reduction of waiting times and the improvement of quality. As a first conclusion, it is highlighted that the proposal has a positive impact on delivery times, with an economic return of 2.33 soles for each sol invested, which justifies its viability and benefits for the company.

Key words: Lean manufacturing, lead time, Productivity

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN..... 1

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO OPERACIONAL..... 3

1.1. Planteamiento del problema..... 3

1.1.1. Descripción del Problema..... 3

1.1.2. Formulación del Problema..... 4

1.1.3. Sistematización del problema..... 4

1.2. Objetivos de la investigación..... 4

1.2.1. Objetivo General..... 4

1.2.2. Objetivos Específicos 4

1.3. Justificación del estudio..... 5

1.3.1. Justificación Práctica 5

1.3.2. Justificación Social 5

1.3.3. Justificación Económica..... 5

1.3.4. Justificación Metodológica..... 6

1.3.5. Justificación profesional y personal 6

1.4. Hipótesis 7

1.5. Variables e indicadores 7

1.5.1. Variables..... 7

1.5.2.	Operacionalización de variables	8
1.6.	Delimitaciones	9
1.6.1.	Delimitación Espacial.....	9
1.6.2.	Delimitación Temporal.....	9
1.6.3.	Delimitación Temática	9
1.7.	Planteamiento metodológico.....	9
1.7.1.	Enfoque y nivel de investigación.....	9
1.7.2.	Diseño de investigación.....	10
1.7.3.	Levantamiento de información.....	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....		14
2.1.	Marco teórico de la investigación	14
2.1.1.	Antecedentes.....	14
2.2.	Marco referencial de la investigación	16
2.2.1.	Manufactura Esbelta: Origen de la filosofía.....	16
2.2.2.	Herramientas y Técnicas de la Manufactura Esbelta.....	17
2.2.3.	Aplicación de la Manufactura Esbelta en Empresas de Metalmecánica	21
2.3.	Reducción de Tiempos de Setup.....	21
2.4.	Gestión Visual y Flujo Continuo	22
2.5.	Mantenimiento Preventivo y Mejora Continua.....	22
2.6.	Optimización del Flujo de Materiales.....	22
2.7.	Gestión de Calidad Total (TQM).....	23
2.8.	Flexibilidad y Adaptabilidad.....	23
2.9.	Reducción de Costos y Desperdicios.....	23

2.9.1.	Datos Necesarios para Aplicar la Manufactura Esbelta	23
2.9.2.	Expresión de Resultados.....	25
2.9.3.	Gestión del Tiempo	26
2.9.4.	Componentes Clave:.....	27
2.9.5.	Sistema de Producción por Proyecto	30
CAPÍTULO III: DIAGNÓSTICO ACTUAL.....		34
3.1.	Descripción general de la empresa	34
3.1.1.	Análisis Interno y Externo de la empresa.....	34
3.1.2.	Descripción de la Empresa	36
3.1.3.	Estructura organizacional	37
3.1.4.	Procesos de la empresa	39
3.1.5.	Descripción de los procesos	41
3.1.6.	Análisis de desempeño de los procesos	45
3.2.	Análisis de causa raíz.....	49
CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE MEJORA.....		52
4.1.	Resumen del estándar actual de los procesos productivos	52
4.1.1.	Problemas y Áreas de Mejora Identificadas	53
4.2.	La aplicación de las 5S	53
4.2.1.	Seiri (Clasificar)	53
4.2.2.	Seiton (Ordenar)	64
4.2.3.	Seiso (Limpiar).....	69
4.2.4.	Seiketsu (Estandarizar).....	72
4.2.5.	Shitsuke (Sostener).....	76

4.2.6.	Desarrollo técnico de la propuesta 5S	79
4.3.	Utilización del TPM (Mantenimiento Productivo Total)	80
4.3.1.	Preparación para el TPM	80
4.3.2.	Implementación de las 5S.....	82
4.3.3.	Mantenimiento Autónomo (Jishu Hozen)	85
4.3.4.	Mantenimiento Planificado.....	86
4.3.5.	Mantenimiento de Calidad.....	87
4.3.6.	Mejora Continua (Kaizen).....	89
4.3.7.	Entrenamiento y Desarrollo de Competencias	90
4.3.8.	Gestión Temprana de Equipos.....	91
4.3.9.	Seguridad, Salud y Medio Ambiente (SHE)	91
4.3.10.	Gestión del Mantenimiento en la Cadena de Suministro.....	92
4.3.11.	Desarrollo técnico de la propuesta TPM.....	93
4.4.	PokaYoke.....	98
4.4.1.	Fases del Proceso de Revestimiento en Caliente.....	99
4.4.2.	Desarrollo técnico del sistema Poka-Yoke.....	109
4.5.	Plan de capacitación general de la propuesta de mejora.....	112
4.5.1.	Objetivo General.....	112
4.5.2.	Objetivos Específicos	112
4.5.3.	Público objetivo.....	113
4.5.4.	Contenidos del Programa	113
4.5.5.	Cronograma de Ejecución	114
4.5.6.	Metodología de Capacitación	114

4.5.7. Evaluación de Aprendizaje.....	114
4.5.8. Indicadores de seguimiento	115
4.5.9. Documentos y soportes.....	115
4.5.10. Resultados esperados	115
4.6. Cronograma general de implementación de la propuesta de mejora	115
4.7. Situación Actual vs Resultados Esperados	116
CAPÍTULO V: EVALUACIÓN ECONÓMICA	118
5.1. Costo de la Propuesta de mejora.....	118
5.1.1. Costeo de la aplicación de las 5S.....	118
5.1.2. Costeo de la implementación del TPM.....	119
5.1.3. Costeo de la implementación del PokaYoke	120
5.2. Beneficios de la propuesta	122
5.2.1. Resumen de beneficios esperados por la implementación de las propuestas.....	122
5.3. Análisis Beneficio / Costo	123
CONCLUSIONES.....	124
RECOMENDACIONES	125
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
ANEXOS	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Matriz de consistencia</i>	8
Tabla 2	<i>Técnicas e instrumentos de recolección de información</i>	11
Tabla 3	<i>Principios de la técnica 5S</i>	21
Tabla 4	<i>Análisis PESTEL</i>	35
Tabla 5	<i>Tabla de KPIs – Procesos Productivos</i>	46
Tabla 6	<i>Tabla de KPIs – Procesos Logísticos</i>	47
Tabla 7	<i>Resumen análisis del cumplimiento de entrega</i>	48
Tabla 8	<i>Los 5 Porqués</i>	49
Tabla 9	<i>Tabla Resumen de Problemas, Causas y Herramientas</i>	50
Tabla 10	<i>Inventario Actual y Codificación</i>	55
Tabla 11	<i>Clasificación de Herramientas y Equipos de Máquina de Autoclave</i>	56
Tabla 12	<i>Clasificación de Herramientas y Equipos de la Prensa</i>	57
Tabla 13	<i>Clasificación de Herramientas y Equipos del Molino de Caucho</i>	57
Tabla 14	<i>Clasificación de Herramientas y Equipos de la Granalladora</i>	58
Tabla 15	<i>Clasificación de Herramientas y Equipos de la Compresora de Pintura</i>	58
Tabla 16	<i>Matriz REL de relaciones entre áreas del proceso</i>	60
Tabla 17	<i>Diagrama relacional de espacios del área de producción</i>	61
Tabla 18	<i>Evaluación Ponderada De Alternativas De Layout</i>	62
Tabla 19	<i>Sistema de clasificación y almacenamiento adecuado para cada máquina, con los materiales y herramientas asociadas.</i>	65
Tabla 20	<i>Tabla de Colores y Materiales</i>	67
Tabla 21	<i>Organización de Almacenaje con Estantes y Cajas</i>	68
Tabla 22	<i>Herramientas de limpieza recomendadas y su frecuencia de uso según las áreas específicas de la planta.</i>	70
Tabla 23	<i>Plan de limpieza organizado por áreas y frecuencias de las actividades</i>	71
Tabla 24	<i>Protocolos Estandarizados</i>	73
Tabla 25	<i>Listas de Verificación Diarias</i>	73
Tabla 26	<i>Lista de Verificación Semanal</i>	74
Tabla 27	<i>Estructura del Plan de Capacitación</i>	75
Tabla 28	<i>Auditorías de las 5S: Actividades, Responsables y Frecuencias</i>	77

Tabla 29 <i>Indicadores clave de evaluación (KPIs)</i>	79
Tabla 30 <i>Cronograma de implementación por fase</i>	79
Tabla 31 <i>Criticidad de Equipos</i>	93
Tabla 32 <i>Indicadores de mantenimiento (KPIs)</i>	94
Tabla 33 <i>Plan maestro de mantenimiento anual</i>	95
Tabla 34 <i>Checklist de Validación (Recepción de OT)</i>	100
Tabla 35 <i>Checklist de Asignación de Código de Barras</i>	101
Tabla 36 <i>Checklist de Tratamiento Superficial</i>	102
Tabla 37 <i>Checklist de Inspección de Rugosidad</i>	103
Tabla 38 <i>Checklist de Limpieza Final</i>	103
Tabla 39 <i>Checklist de Registro Final</i>	104
Tabla 40 <i>Checklist de Inspección de Rugosidad</i>	104
Tabla 41 <i>Checklist de Aplicación de Imprimante y Adhesivo</i>	105
Tabla 42 <i>Checklist de Control de Condiciones Ambientales</i>	105
Tabla 43 <i>Checklist de Revestimiento con Plancha Laminada</i>	107
Tabla 44 <i>Checklist de Vulcanizado</i>	107
Tabla 45 <i>Checklist de Acabados</i>	108
Tabla 46 <i>Checklist de Liberación de Producto</i>	108
Tabla 47 <i>Identificación de errores frecuente</i>	109
Tabla 48 <i>Posibles soluciones</i>	109
Tabla 49 <i>Cálculo de indicadores de línea base del Poka-Yoke</i>	110
Tabla 50 <i>Indicadores de desempeño</i>	111
Tabla 51 <i>Público objetivo</i>	113
Tabla 52 <i>Cronograma de Ejecución de la capacitación</i>	114
Tabla 53 <i>Evaluación de Aprendizaje</i>	114
Tabla 54 <i>Indicadores de seguimiento</i>	115
Tabla 55 <i>Cronograma general de implementación de la propuesta</i>	116
Tabla 56 <i>Resumen de Situación Actual vs Resultados Esperados</i>	117
Tabla 57 <i>Costo de capacitación del curso 5s</i>	118
Tabla 58 <i>Costo de Capacitación al personal</i>	118
Tabla 59 <i>Costo del requerimiento de materiales para las 5s</i>	118

Tabla 60	<i>Resumen de Costo total de Implementación de 5s</i>	119
Tabla 61	<i>Costo de capacitación de Mantenimiento Predictivo y Autónomo</i>	120
Tabla 62	<i>Resumen de Costo total de Implementación de TPM</i>	120
Tabla 63	<i>Implementación del Sistema QR</i>	120
Tabla 64	<i>Capacitación del personal</i>	121
Tabla 65	<i>Resumen de Costo total de implementación del Poka Yoke</i>	121
Tabla 66	<i>Resumen de los Costos de las Propuestas</i>	122
Tabla 67	<i>Resumen de los costos de las problemáticas</i>	122
Tabla 68	<i>Análisis Beneficio/Costo</i>	123



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa del Flujo de Valor	17
Figura 2 Tablero de Kanban	18
Figura 3 Períodos de la metodología SMED	20
Figura 4 Sistema de Producción por proyectos	31
Figura 5. Análisis FODA.....	36
Figura 6 Estructura organizacional.....	38
Figura 7 Mapa de Procesos.....	39
Figura 8 Flujograma del proceso de atención de una orden de fabricación con revestimiento en caliente.....	40
Figura 9 DOP – Revestimiento en caliente	42
Figura 10.....	44
Figura 11 Eficiencia por Operario – Revestimiento en Caliente.....	45
Figura 12 Tiempo de Atención de Solicitudes de Compra.....	47
Figura 13 Diagrama de Ishikawa.....	50
Figura 14 Diseño de Layout Propuesto	64
Figura 15 Diagramación del Layout con Almacenaje de Materiales y Herramientas.....	66
Figura 16 Formato Boletín TPM.....	81
Figura 17 Formato Auditoría de Equipos	82
Figura 18 Formato Lista de Clasificación	83
Figura 19 Formato de Organización Visual	83
Figura 20 Formato de Seguimiento de Limpieza	84
Figura 21 Formato Manual de Procedimiento.....	84

Figura 22 Formato de Registro de Capacitación	85
Figura 23 Formato Checklist	86
Figura 24 Formato Plan de Mantenimiento	87
Figura 25 Formato Calendario	87
Figura 26 Formato de Verificación de Calidad	88
Figura 27 Formato de Proyecto Kaizen	89
Figura 28 Formato de Registro de Capacitación Técnica	90
Figura 29 Formato de Evaluación de Seguridad	92



INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las empresas del sector metalmeccánico enfrentan el desafío constante de mejorar la eficiencia en sus procesos productivos y reducir los tiempos de entrega, con el fin de satisfacer las expectativas de los clientes y mantenerse competitivas en el mercado. La optimización de los procesos y la reducción de desperdicios son claves para garantizar la rentabilidad y el crecimiento de las empresas de este rubro. Las herramientas de manufactura esbelta han demostrado ser eficaces para abordar estos desafíos, ya que permiten identificar y eliminar ineficiencias en los procesos productivos. La presente investigación tiene como objetivo general diseñar una propuesta de mejora para optimizar la productividad en una empresa de fabricación de piezas industriales, a partir de la aplicación de estas herramientas.

La presente investigación está conformada por los siguientes capítulos.

En el Capítulo I: Planteamiento Operacional, se describe el contexto y los problemas que enfrenta la empresa de estudio, así como los objetivos generales y específicos de la investigación. Este capítulo establece la base para entender los retos a los que se enfrenta la empresa y cómo la investigación puede contribuir a resolverlos.

En el Capítulo II: Marco Teórico, se desarrolla el marco conceptual y teórico que sustenta la investigación. Se abordan las principales herramientas de manufactura esbelta, tales como las 5S, TPM y Poka-Yoke, así como su aplicabilidad en el sector metalmeccánico. Además, se analizan los antecedentes y estudios previos que han explorado la implementación de estas herramientas, lo que proporciona una base sólida para el diseño de la propuesta de mejora.

En el Capítulo III: Diagnóstico Actual, se presenta el diagnóstico de los procesos productivos de la empresa, a través de herramientas como el análisis PESTEL, FODA, VSM y otros instrumentos de evaluación. Este capítulo tiene como objetivo identificar las principales ineficiencias y los problemas que afectan la productividad, y sirve como base para la propuesta de mejora.

En el Capítulo IV: Propuesta de Mejora, se detalla la solución diseñada para optimizar los procesos productivos, basada en la implementación de las herramientas de manufactura esbelta. Este capítulo describe las estrategias y acciones propuestas para mejorar la organización, reducir los tiempos de espera y minimizar los errores en los procesos productivos.

En el Capítulo V: Evaluación Económica, se presenta el análisis costo/beneficio de la propuesta de mejora, evaluando el impacto económico esperado de su implementación. Este capítulo analiza los costos asociados a la propuesta y los beneficios que se espera obtener, proporcionando una justificación económica para la inversión en la mejora de los procesos.

Finalmente, en el Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones, se resumen los principales resultados de la investigación, destacando los hallazgos más relevantes y ofreciendo recomendaciones tanto para la empresa como para la comunidad académica. Este capítulo sintetiza el impacto de la propuesta de mejora y sugiere posibles líneas de investigación futura en el campo de la manufactura esbelta.



CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Descripción del Problema

El sector metalmecánico en el Perú constituye un soporte estratégico para actividades de alto impacto económico como la minería, construcción, petróleo y manufactura, dado que produce maquinarias y componentes de alta demanda. De acuerdo con el Ministerio de Energía y Minas (2021), el desarrollo de nuevos proyectos mineros incrementará la necesidad de bienes y servicios vinculados a la metalmecánica, generando una mayor presión sobre las empresas de este rubro para responder con eficiencia y confiabilidad en sus procesos productivos.

Sin embargo, al interior de los talleres metalmecánicos persisten limitaciones operativas relacionadas con la gestión de la producción, tales como desorganización, ausencia de estandarización en los procesos, deficiencias en el mantenimiento de equipos, inadecuado control de insumos y falta de disciplina en el orden y la limpieza. Estas deficiencias impactan directamente en la productividad y en los tiempos de entrega comprometidos con los clientes.

La empresa en estudio presenta un problema crítico relacionado con sus largos tiempos de entrega, que afectan la satisfacción del cliente y su competitividad en el mercado. Este problema se ve agravado por la existencia de reprocesos en etapas críticas del proceso de revestimiento en caliente de piezas, entre los que destacan: errores en el corte de planchas de caucho, omisión de tiempos de secado en la aplicación de imprimantes y adhesivos, inconsistencias en la validación de órdenes de trabajo con información incompleta y checklists finales incompletos en la liberación de productos. Estos reprocesos generan retrabajos, desperdicio de materiales, incrementos de costos y una utilización ineficiente de la capacidad instalada, prolongando los plazos de entrega más allá de lo planificado.

La situación descrita ha ocasionado pérdidas de competitividad, debilitamiento de la confianza del cliente y afectación de la rentabilidad, debido a mayores costos de operación, manipulación innecesaria de materiales y retrasos acumulados en la cadena de valor.

Ante esta problemática, resulta indispensable plantear una propuesta de mejora que permita minimizar los reprocesos, reducir los tiempos de entrega y optimizar la productividad de la

empresa, contribuyendo a un proceso productivo más confiable, ágil y eficiente que responda a las exigencias actuales del sector.

1.1.2. Formulación del Problema

¿Cómo será una propuesta que optimice la productividad en una empresa de fabricación de piezas industriales a partir de la aplicación de las herramientas de manufactura esbelta?

1.1.3. Sistematización del problema

- ¿Cómo será la situación actual de los procesos productivos de la empresa de fabricación de piezas industriales?
- ¿Qué afecta la productividad de los procesos productivos de la empresa en investigación?
- ¿Qué características tendrá una propuesta que optimice la productividad en una empresa de fabricación de piezas industriales a partir de la aplicación de las herramientas de manufactura esbelta?
- ¿La propuesta planteada será viable económicamente?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo General

Diseñar una propuesta que optimice la productividad en una empresa de fabricación de piezas industriales a partir de la aplicación de las herramientas de manufactura esbelta.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico de la situación actual de los procesos productivos de la empresa de fabricación de piezas industriales.
- Identificar las causas raíz que afectan la productividad de los procesos productivos de la empresa en investigación.
- Diseñar una propuesta que optimice la productividad en la empresa de fabricación de piezas industriales a partir de la aplicación de las herramientas de manufactura esbelta.
- Realizar un análisis costo/beneficio de la propuesta.

1.3. Justificación del estudio

1.3.1. Justificación Práctica

La justificación práctica radica básicamente a la implementación de herramientas de la Manufactura Esbelta para reducir el tiempo de entrega puede conducir a una mejora significativa en la eficiencia operativa de la empresa. Al identificar y eliminar desperdicios, cuellos de botella y actividades que no agregan valor, se pueden optimizar los procesos de producción y entrega, lo que resulta en una mayor productividad y menores costos operativos.

Además, al optimizar los procesos de producción y entrega, la empresa puede mejorar su capacidad para cumplir con plazos de entrega ajustados y responder de manera más ágil a las demandas del mercado. Esto puede ser especialmente importante en industrias con ciclos de vida de productos cortos o en entornos empresariales volátiles y competitivos. Estos beneficios no solo tienen el potencial de mejorar la competitividad y la viabilidad de la empresa, sino que también pueden generar un impacto positivo en su éxito a largo plazo.

1.3.2. Justificación Social

Esta investigación es relevante a nivel social ya que impactará positivamente en la satisfacción de los clientes y los trabajadores de la empresa.

Los clientes valoran la puntualidad y la fiabilidad en la entrega de productos, lo que puede mejorar su percepción de la empresa y fomentar la lealtad a la marca. Esto no solo beneficia a la empresa en términos de ingresos y reputación, sino que también contribuye a la construcción de relaciones sólidas con los clientes, lo que es fundamental para el crecimiento a largo plazo.

Además, al implementar prácticas de la Manufactura Esbelta para reducir el tiempo de entrega, la empresa puede mejorar su eficiencia operativa y reducir el desperdicio de recursos, lo que puede tener beneficios ambientales al reducir su huella de carbono y promover prácticas más sostenibles en la industria.

1.3.3. Justificación Económica

Al reducir el tiempo de entrega, la empresa puede minimizar los costos asociados con el almacenamiento de inventario. La reducción de los niveles de inventario liberará capital que de otro modo estaría atado en existencias, lo que puede mejorar la liquidez y la capacidad de inversión de la empresa.

Además, una entrega más rápida puede permitir a la empresa responder de manera más ágil a las demandas del mercado, lo que puede resultar en una mayor captación de clientes y mayores ventas. Al optimizar los procesos y eliminar desperdicios, las herramientas de la Manufactura Esbelta pueden ayudar a reducir los costos de producción y mejorar la eficiencia operativa. Además, al identificar y eliminar cuellos de botella en la cadena de suministro, se pueden reducir los costos asociados con retrasos y tiempos de inactividad, lo que contribuye a una gestión más eficiente de los recursos y a una reducción de los costos operativos.

1.3.4. Justificación Metodológica

La justificación metodológica hace referencia a la utilización de herramientas de la Manufactura como el mapeo de flujo de valor, el análisis de causa raíz, el kanban y la gestión visual, se puede identificar y eliminar desperdicios, cuellos de botella y actividades que no agregan valor, lo que permite optimizar los procesos de producción y entrega.

Además, estas herramientas se basa en la recopilación y el análisis de datos para tomar decisiones informadas. Esto implica la utilización de métricas clave de rendimiento (KPIs) relacionadas con el tiempo de entrega, como el lead time y el cycle time, para evaluar el desempeño actual y medir el impacto de las mejoras implementadas.

Por otro lado, la aplicación de un enfoque de la Manufactura Esbelta permite una implementación gradual y escalable de mejoras. En lugar de realizar cambios radicales y disruptivos, se pueden implementar pequeñas mejoras incrementales de manera continua, lo que minimiza el riesgo y permite a la empresa adaptarse y responder a los cambios en el entorno operativo.

1.3.5. Justificación profesional y personal

Desde esta perspectiva, la investigación ofrece al tesista la oportunidad de adquirir y aplicar habilidades y conocimientos altamente valorados en el mundo empresarial actual. La implementación exitosa de herramientas de la Manufactura Esbelta para mejorar la eficiencia en la entrega no solo demuestra competencia técnica y capacidad de gestión, sino que también puede abrir nuevas oportunidades de crecimiento y desarrollo profesional. Además, el dominio de estas habilidades puede aumentar la empleabilidad y la capacidad de progreso en la carrera profesional dentro del ámbito de la gestión de operaciones y la manufactura.

Al liderar un proyecto de mejora continua en una empresa, se desarrollan habilidades de liderazgo y gestión de equipos, así como la capacidad de enfrentar y resolver desafíos complejos en un entorno empresarial real. Además, el éxito en la implementación de mejoras tangibles en la eficiencia y la productividad puede generar una sensación de logro y satisfacción personal, fortaleciendo la confianza en las propias habilidades y capacidades.

1.4. Hipótesis

Dado que existe una deficiente gestión de tiempo en el área de producción, es factible plantear una propuesta de mejora basada en las herramientas de manufactura esbelta que permita optimizar el proceso productivo.

1.5. Variables e indicadores

1.5.1. Variables

- - Dependiente: Gestión del tiempo
- - Independiente: Manufactura Esbelta.



1.5.2. Operacionalización de variables

Tabla 1

Matriz de consistencia

Variable	Concepto	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente: Manufactura Esbelta	Filosofía de gestión enfocada en la mejora continua, eliminación de desperdicios y optimización de procesos para aumentar el valor al cliente.	5S	<ul style="list-style-type: none"> - Nivel de orden y limpieza en el área de producción - % de cumplimiento en auditorías 5S - % de cumplimiento del checklist de mantenimiento autónomo - Frecuencia de incidencias por fallas menores - % de reducción de reprocesos - Número de errores operativos detectados - Nivel de cumplimiento de checklist final
		TPM (Mantenimiento Autónomo)	
Variable Dependiente: Gestión del Tiempo	Distribución adecuada de los recursos temporales en las tareas operativas, orientada a maximizar la eficiencia y cumplir plazos.	Poka-Yoke	
		Eficiencia operativa	<ul style="list-style-type: none"> - Rendimiento real por operario (min/m²) - Eficiencia del operario (%) - % de órdenes entregadas a tiempo
		Cumplimiento de entregas	<ul style="list-style-type: none"> - Tiempo promedio de entrega (días) - Tiempo promedio de atención de solicitudes de compra (días)
		Gestión logística	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de reprocesos - Reducción de errores operativos
		Mejora del proceso	<ul style="list-style-type: none"> - N° de incidencias detectadas post-mejora

Nota. Elaboración propia

1.6. Delimitaciones

1.6.1. Delimitación Espacial

La empresa en estudio se especializa en el servicio de revestimiento de caucho y ventas de otros productos. La investigación se desarrollará en la planta industrial en el distrito de Sabandía, Arequipa.

Ubicación

País	: Perú
Departamento	: Arequipa
Provincia	: Arequipa
Distrito	: Sabandía

1.6.2. Delimitación Temporal

La investigación se desarrolló en un periodo de 9 meses, comprendido entre mayo del 2024 y enero del 2025. El análisis de la línea base se realizó sobre los registros operativos y de mantenimiento del año 2024, complementados con observaciones directas en planta y entrevistas al personal durante el mismo periodo.

1.6.3. Delimitación Temática

La investigación se enmarca dentro del campo de la Ingeniería Industrial, específicamente en el área de Gestión de Producción y Operaciones, haciendo uso de herramientas de manufactura esbelta (5S, TPM y Poka Yoke) y métodos de análisis propios de la ingeniería.

El estudio se circunscribe al proceso de revestimiento en caliente en la planta de producción de la empresa, enfocándose en la reducción de los tiempos de entrega. No se incluyen otras áreas de la organización, como ventas, administración u otras líneas de servicio.

1.7. Planteamiento metodológico

1.7.1. Enfoque y nivel de investigación

(Hernández Sampieri, 2014), en su libro "Metodología de la investigación" propone los métodos deductivos e inductivo, siendo el primero parte de una hipótesis específica lo cual permite plantear predicciones lógicas que deberían seguirse si la teoría es correcta y el segundo es un método que inicia con las observaciones específicas o datos empíricos.

Por lo tanto, el método de esta investigación es deductivo, ya que la investigación partirá de una filosofía general, la manufactura esbelta, para aplicarla a una realidad particular, los procesos productivos de la empresa.

1.7.2. Diseño de investigación

La investigación tendrá como resultado una propuesta y en un punto de tiempo determinado en una empresa del sector manufacturero, ya que se describirá la situación actual de los procesos de producción para luego analizar y desarrollar dicha propuesta.

Por lo tanto, esta tendrá un diseño de investigación no experimental de tipo transversal ya que según (Hernández Sampieri, 2014), este diseño recopila datos en un único momento, en un periodo de tiempo singular y su objetivo es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento determinado.

1.7.3. Levantamiento de información

1.7.3.1. Técnicas

Para el presente estudio se emplearon diversas técnicas de recolección de información, seleccionadas por su utilidad para el análisis cualitativo y cuantitativo del proceso productivo:

- Observación documental: Permite analizar reportes, registros y órdenes de trabajo emitidas por el área de producción, facilitando la obtención de indicadores clave como tiempos de entrega y cumplimiento de OT.
- Entrevista semiestructurada: Aplicada al personal responsable del área de producción, permitió identificar causas de los retrasos, criterios de programación, y dificultades operativas desde el punto de vista del personal.
- Observación directa (no presencial): Se diseñó y aplicó una guía de observación indirecta para estimar los tiempos reales de producción por operario, utilizando como insumo entrevistas técnicas y registros históricos. Esta técnica permitió evaluar el rendimiento real frente al estándar establecido.

1.7.3.2. Instrumentos

Los instrumentos utilizados estuvieron directamente relacionados con las técnicas aplicadas. Estos fueron:

- Guía de entrevista semiestructurada

Se realizó una entrevista semiestructurada al planner de producción de la empresa, con el objetivo de identificar las principales actividades del área, los problemas que enfrentan en la operación diaria y las causas percibidas de los retrasos en las entregas. Esta técnica permitió recopilar información específica desde la experiencia de un colaborador clave, aportando datos valiosos sobre la realidad operativa. La guía de entrevista y sus respuestas se presentan en el Anexo 1.

- Guía de observación documental
- Se aplicó una guía de observación documental para revisar documentos internos proporcionados por la empresa. Entre los documentos analizados se encuentran la visión, misión, organigrama, el mapa de procesos y un reporte de órdenes de fabricación correspondientes al año 2024. Este último permitió identificar que un porcentaje considerable de órdenes fueron entregadas fuera del plazo previsto. Esta técnica fue fundamental para detectar deficiencias estructurales y de gestión. El formato de la guía y los hallazgos obtenidos se incluyen en el Anexo 2.
- Guía de observación directa (aplicación indirecta)
- Inicialmente, se planteó la aplicación de una guía de observación directa en planta. Sin embargo, debido a que el investigador ya no formaba parte de la empresa y no se pudo coordinar el acceso a la planta, se optó por una aplicación indirecta de esta guía. Se utilizó información recogida mediante entrevistas técnicas y registros históricos proporcionados por la empresa para estimar tiempos reales de operación, rendimiento por operario y eficiencia. Esta guía permitió construir un diagnóstico cuantitativo del desempeño productivo. El instrumento completo se presenta en el Anexo 3.

A continuación, se presenta una tabla resumen con las técnicas e instrumentos aplicados en el desarrollo de la investigación, indicando su finalidad y el medio de aplicación correspondiente.

Tabla 2

Técnicas e instrumentos de recolección de información

Técnica	Instrumento	Aplicación	Finalidad
Observación documental	Guía de observación documental	Revisión de reportes, OT, organigrama, mapa de procesos	Identificar deficiencias estructurales, tiempos de entrega y trazabilidad
Entrevista semiestructurada	Guía de entrevista semiestructurada	Planner de producción (1 entrevista aplicada)	Detectar causas de retraso, percepción del personal, oportunidades de mejora

Observación directa	Guía de observación directa	Aplicación indirecta mediante registros y entrevistas	Estimar rendimientos, identificar brechas de eficiencia por operario
---------------------	-----------------------------	---	--

Nota. Elaboración propia

Cabe destacar que, si bien la observación directa no fue aplicada de forma presencial, la guía fue utilizada como instrumento de análisis indirecto en base a datos internos y entrevistas. Este procedimiento permitió generar indicadores cuantitativos como parte del diagnóstico y sustenta la propuesta de mejora. Las guías completas se encuentran en los Anexos 1, 2 y 3 respectivamente.

1.7.3.3. Métodos de ingeniería a aplicarse

En el desarrollo de la presente investigación se emplearon métodos de ingeniería industrial orientados al diagnóstico de procesos, análisis de desempeño y propuesta de mejora. Estos métodos permitieron sustentar las decisiones tomadas a partir de datos reales, aplicando herramientas ampliamente utilizadas en entornos industriales:

- **Estudio de tiempos:**
Se utilizó para analizar el desempeño operativo de los trabajadores en el proceso de revestimiento en caliente, comparando el tiempo real de producción con el tiempo estándar establecido por la empresa. Este análisis permitió calcular el rendimiento por m² y la eficiencia individual por operario.
- **Indicadores de desempeño (KPIs):**
Se aplicaron indicadores clave como el tiempo promedio de entrega, el porcentaje de cumplimiento de órdenes de trabajo, y el tiempo promedio de atención de solicitudes de compra, a fin de establecer una línea de base cuantitativa y sustentar la propuesta de mejora.
- **Análisis causa–efecto (Diagrama de Ishikawa):**
Permitió identificar de manera estructurada las causas raíz de los principales problemas encontrados en el proceso productivo, agrupándolas en categorías como método, mano de obra, maquinaria, materiales y medio ambiente.
- **Diagrama Operativo de Proceso (DOP):**
Fue utilizado para representar el flujo actual de actividades en el proceso de revestimiento, evidenciando operaciones críticas, esperas y oportunidades de mejora.
- **Herramientas de Manufactura Esbelta:**

Se propuso la aplicación de herramientas como 5S, TPM (Mantenimiento Productivo Total) y Poka-Yoke, con el objetivo de mejorar el orden, la eficiencia operativa y reducir errores humanos. Estas herramientas fueron seleccionadas por su aplicabilidad práctica y bajo costo de implementación.

1.7.3.4. Población

La población de estudio está conformada por los procesos operativos vinculados al servicio de revestimiento en caliente de piezas metálicas en la planta de producción ubicada en el distrito de Sabandía, perteneciente a una empresa del rubro metalmecánico. Esta población incluye el conjunto de actividades de recepción de órdenes de trabajo, preparación de superficie, aplicación del revestimiento, inspección y despacho, así como los recursos humanos (operarios, técnicos y supervisores) y materiales (equipos y herramientas) directamente involucrados. La delimitación precisa de esta población permite abordar de manera integral el análisis de los factores que inciden en los tiempos de entrega, en coherencia con el objetivo de proponer mejoras basadas en herramientas de manufactura esbelta.

1.7.3.5. Muestra

Se utilizará el muestreo no probabilístico por conveniencia, que según (Hernández Sampieri, 2014) es aquel que permite seleccionar una muestra de una población de manera que no todos los elementos tengan la misma probabilidad de ser seleccionados. Por lo tanto, la investigación tiene este tipo de muestreo, ya que se elegirán los procesos críticos del área de producción.

Al optar por el muestreo no probabilístico por conveniencia, podemos obtener información detallada del proceso de revestimiento en caliente en una empresa del rubro metalmecánico, lo que nos facilitará una comprensión más profunda del contexto. Esta información contextual será esencial para sugerir recomendaciones y soluciones personalizadas que se ajusten a las necesidades particulares de la empresa.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco teórico de la investigación

2.1.1. Antecedentes

2.1.1.1. A Nivel Internacional

Mexicano, Hernández, Carmona, Cervantes y Montes (2023) *Mejora de procesos de laboratorio de mecánica de suelos aplicando herramientas de manufactura esbelta, RIDE* Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo, Guadalajara – México

El presente artículo de investigación se centra en proponer soluciones prácticas para mejorar la productividad en micro y pequeñas empresas, utilizando herramientas de manufactura esbelta. Se destacan técnicas como las 5'S, el diagrama de spaghetti y los tableros Kanban, aplicadas en un laboratorio de mecánica de suelos. Durante la implementación de estas herramientas, se observaron mejoras sustanciales en la eficiencia del trabajo, con una reducción del 44.88 % en los movimientos necesarios para llevar a cabo diversas actividades y una liberación del 32.37 % del área de trabajo, lo que permitió optimizar el flujo de trabajo y reducir la espera de muestras. La introducción de tableros Kanban también contribuyó a un mejor control y organización de los procesos, facilitando la supervisión por parte del personal y el jefe de laboratorio. Estas mejoras prometen una ejecución más eficiente y ordenada de las actividades en el laboratorio. (Mexicano Santoyo, Hernández Hinojosa, Carmona Frausto, Cervantes Alvarez, & Montes Dorantes, 2023)

Martínez-Pérez y Vázquez-Ramos (2022). *Reducción de desperdicios en procesos industriales mediante herramientas Lean*, Universidad Politécnica de Valencia, España.

El presente estudio tuvo como finalidad reducir desperdicios en una planta de manufactura de piezas metálicas mediante la aplicación de herramientas Lean Manufacturing. Para ello, se implementaron técnicas como el SMED (Single-Minute Exchange of Die) y el diagrama spaghetti, enfocándose en procesos con alta variabilidad y tiempos muertos en los cambios de formato. La metodología consistió en la observación directa de procesos, cronometraje, análisis de recorridos y rediseño de secuencias operativas. Como resultado, se logró una reducción del 35 % en los tiempos de cambio de formato y una mejora en la eficiencia operativa de la planta. Esta investigación demuestra la efectividad de las herramientas de manufactura esbelta en

entornos industriales reales, lo que la hace altamente relevante para contextos similares como el sector metalmeccánico peruano. (Martínez-Pérez & Vázquez-Ramos, 2022)

2.1.1.2. A nivel Nacional

Velásquez (2023) *Implementación de herramientas lean para mejorar la productividad del proceso de producción en una empresa agroexportadora – lima 2022*, Universidad Ricardo Palma, Lima – Perú.

El estudio actual de investigación tiene como objetivo abordar los desafíos relacionados con la baja eficiencia en la producción de una empresa agroexportadora. Su objetivo principal es evaluar cómo la aplicación de estrategias Lean puede potenciar la productividad en dicho proceso. Para alcanzar esta meta, se implementaron metodologías específicas, incluyendo la 5S para optimizar los costos de mano de obra, el mantenimiento autónomo para incrementar la disponibilidad de los equipos y SMED para agilizar los cambios de producto. Los resultados destacaron una notable reducción en los costos de mano de obra directa y en la reducción en los tiempos de cambio de producto. En conclusión, la aplicación de estrategias Lean no solo permitió reducir los costos de mano de obra directa, mejorar la disponibilidad de los equipos y agilizar los cambios de producto, sino que también contribuyó a aumentar la productividad del proceso de producción en la empresa agroexportadora analizada. Este estudio adquiere relevancia porque examina una de las variables que se propone investigar, la manufactura esbelta. (Velasquez Rivera, 2023)

Vargas y Camero (2021) *Aplicación del Lean Manufacturing (5s y Kaizen) para el incremento de la productividad en el área de producción de adhesivos acuosos de una empresa manufacturera*, Industrial Data, Lima – Perú.

El presente artículo tiene como objetivo principal implementar una estrategia de mejora fundamentada en la metodología de Lean Manufacturing. Para este propósito, se aplicaron la metodología Kaizen y las 5S como enfoques principales. Se realizó una evaluación de los resultados de productividad, revelando un valor promedio de 5.58 Kg/h-h. Es importante resaltar que, antes de la implementación de Lean Manufacturing en el año 2018, la productividad promedio era de 4.37 Kg/h-h. (Vargas Crisóstomo & Camero Jiménez, 2021)

2.2. Marco referencial de la investigación

2.2.1. Manufactura Esbelta: Origen de la filosofía

El origen de la Manufactura Esbelta se remonta a los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial, cuando Japón enfrentaba una economía devastada y recursos extremadamente limitados. En este entorno de escasez, Toyota se vio obligada a encontrar formas innovadoras de optimizar sus procesos de producción para sobrevivir y competir en el mercado global emergente. Fue en este contexto que emergió el Toyota Production System (TPS), un sistema que enfatizaba la eliminación de desperdicios, la flexibilidad y la mejora continua. Liker (2004)

El TPS no solo se basaba en la eficiencia productiva, sino también en un profundo respeto por las personas y una cultura de trabajo en equipo y colaboración. Estos valores fundamentales fueron cruciales para el éxito del sistema y se convirtieron en parte integral de la filosofía Lean. Como se destaca en "Lean Thinking" (Womack & Jones, Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation, 2003), Toyota demostró que la excelencia operativa no solo se trataba de tecnología y procesos, sino también de una cultura organizacional sólida y valores compartidos.

El término "Lean" se popularizó a fines del siglo XX gracias a la obra seminal "The Machine That Changed the World", que presentó el sistema de producción de Toyota como un modelo ejemplar de eficiencia y calidad. Este libro atrajo la atención del mundo empresarial occidental hacia el enfoque Lean y desencadenó una ola de interés y adopción en diversas industrias.

La fusión del Lean con otras metodologías, como Six Sigma, ha enriquecido aún más su aplicación y efectividad en la mejora continua y la calidad. "The Lean Six Sigma Pocket Toolbook" ofrece una amplia colección de herramientas y técnicas que combinan los enfoques Lean y Six Sigma para lograr resultados excepcionales en la eficiencia operativa y la calidad del producto. (George et al., 2008)

A lo largo de las décadas, la Manufactura Esbelta ha demostrado ser un enfoque dinámico y adaptable, capaz de resistir las pruebas del tiempo y las cambiantes condiciones del mercado. Su continua relevancia y adopción en la gestión empresarial moderna son testimonio de su impacto perdurable y su capacidad para inspirar la excelencia operativa en organizaciones de todo el mundo.

2.2.2. Herramientas y Técnicas de la Manufactura Esbelta

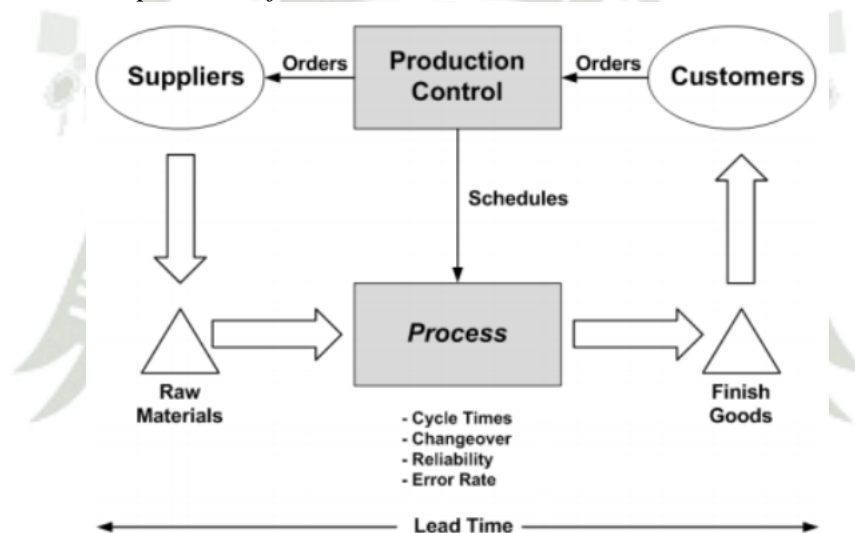
2.2.2.1. Herramientas para la Identificación y Eliminación de Desperdicios

- Value Stream Mapping (Mapa de Flujo de Valor)

Esta herramienta permite mapear visualmente los flujos de materiales e información en un proceso, desde la materia prima hasta la entrega al cliente. Facilita la identificación de desperdicios y la visualización de oportunidades de mejora.

"El Value Stream Mapping proporciona una representación visual de los flujos de materiales e información a lo largo de todo el proceso, lo que facilita la identificación de áreas de desperdicio y la implementación de mejoras." (Rother y Shook, 1999).

Figura 1
Mapa del Flujo de Valor



Nota. Extraído de "Propuesta de reducción de tiempo de entrega de pedidos en una Mype del sector gráfico en Lima, mediante la utilización de herramientas Lean Manufacturing como VSM, SMED y KANBAN" de (Becerra y Villanueva, 2020)

- Kaizen (Mejora Continua)

El Kaizen es una filosofía que fomenta la mejora continua en todos los niveles de una organización, desde los empleados de línea de frente hasta la alta dirección. Involucra a todos los empleados en la identificación y solución de problemas en los procesos.

- "El Kaizen implica cambios graduales y constantes en los procesos de trabajo, con el objetivo de aumentar la eficiencia, la calidad y la satisfacción del cliente." (Imai, 1986)

2.2.2.2. Herramientas para la Creación de Flujo Continuo

- Células de Trabajo (Work Cells)

Las células de trabajo son unidades de producción en las que los equipos y actividades están agrupados de manera física para facilitar un flujo continuo de trabajo. Esto reduce los tiempos de espera y los movimientos innecesarios.

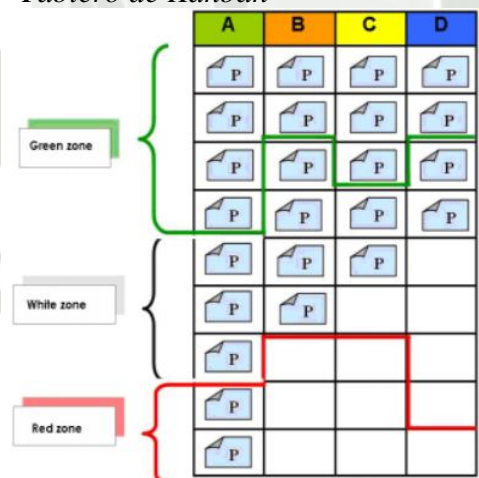
"Las células de trabajo permiten la producción en flujo continuo al agrupar las operaciones necesarias para completar un producto o servicio, minimizando el tiempo de ciclo y aumentando la eficiencia." (Womack, et al., 1990)

- Kanban

El Kanban es un sistema de gestión visual que utiliza tarjetas o señales para controlar el flujo de materiales y la producción "Justo a Tiempo". Asegura que se produzca solo lo necesario en el momento adecuado, evitando la sobreproducción y minimizando el inventario.

"El Kanban proporciona una señal clara para la producción y el movimiento de materiales, evitando la sobreproducción y minimizando el inventario." (Ohno, 1988)

Figura 2
Tablero de Kanban



Nota. Extraído de "Propuesta de reducción de tiempo de entrega de pedidos en una Mype del sector gráfico en Lima, mediante la utilización de herramientas Lean Manufacturing como VSM, SMED y KANBAN" de (Becerra y Villanueva, 2020)

2.2.2.3. Herramientas para la Mejora de la Calidad y Eliminación de Defectos

- Poka-Yoke (Prevención de Errores)

El Poka-Yoke es un enfoque que busca prevenir errores humanos o defectos en los procesos mediante el diseño de dispositivos o sistemas a prueba de errores.

"El Poka-Yoke se centra en la eliminación de errores mediante la simplificación de los procesos y el diseño de sistemas a prueba de errores." (Shingo, 1986)

- Análisis de Causa Raíz

Esta técnica estructurada se utiliza para identificar la causa fundamental de un problema o defecto en los procesos, permitiendo implementar soluciones efectivas y permanentes.

"El análisis de causa raíz ayuda a identificar las causas subyacentes de los problemas de calidad, en lugar de simplemente abordar los síntomas superficiales." (Ishikawa, 1985)

2.2.2.4. *Herramientas para la Optimización del Tiempo y la Eficiencia*

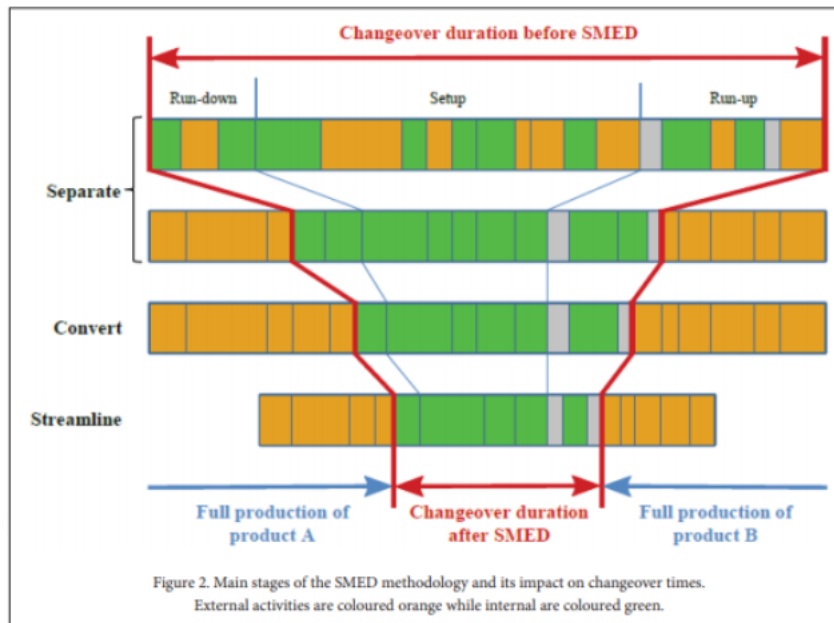
- SMED (Single-Minute Exchange of Die)

SMED es una metodología que busca reducir el tiempo de cambio de herramientas o configuraciones en un proceso de producción a menos de diez minutos. Esto permite producir lotes más pequeños y responder con mayor agilidad a la demanda del cliente.

"El SMED es una técnica efectiva para reducir los tiempos de cambio de herramientas y aumentar la flexibilidad en la producción." (Shingo, 1985)

El SMED, o Cambio Rápido de Troqueles (Single-Minute Exchange of Die), es una metodología de la Manufactura Esbelta diseñada para reducir significativamente el tiempo necesario para cambiar de troqueles en menos de diez minutos. Este proceso se divide en tres etapas principales: primero, la limpieza y eliminación de materiales de producción del equipo; segundo, la configuración de las máquinas para permitir la producción de nuevos productos; y tercero, el período previo a la puesta en marcha, donde se restablece la fabricación estable.

Figura 3
Períodos de la metodología SMED



Nota. Extraído de “Propuesta de reducción de tiempo de entrega de pedidos en una Mype del sector gráfico en Lima, mediante la utilización de herramientas Lean Manufacturing como VSM, SMED y KANBAN” de (Becerra y Villanueva, 2020)

- 5S

Esta metodología se centra en la organización del lugar de trabajo mediante la clasificación, orden, limpieza, estandarización y disciplina. Mejora la eficiencia al reducir la búsqueda de herramientas y materiales, así como al promover un entorno de trabajo seguro y ordenado.

"El 5S es fundamental para establecer un entorno de trabajo organizado y eficiente, que fomenta la productividad y la seguridad." (Hirano, 1996)

Tabla 3
Principios de la técnica 5S

Nº	PRINCIPIOS	DESCRIPCIÓN
1	Clasificar (Seiri)	Consiste en separar y quitar todo aquel elemento que no añade valor a los procesos, actividades o lugares de trabajo.
2	Ordenar (Seiton)	Se deben asignar ubicaciones a los items anteriormente seleccionados como utiles.
3	Limpieza (Seiso)	La identificación de herramientas y equipos para inspeccionar, detectar y corregir falla ocasionadas por la suciedad del centro de trabajo.
4	Estandarizar (Seiketsu)	Fortalece los 3 principios ya mencionados, sigue un procedimiento determinado para asegurar la correcta aplicación de las 3S anteriores.
5	Disciplina (Shitsuke)	Tiene como objetivo desarrollar autodisciplina dentro del proyecto para que las normas establecidas sean duraderas y efectivas.

Nota. Extraído de “Propuesta de mejora para reducir el tiempo de entrega de despacho de una empresa comercial aplicando Lean Manufacturing” de (Ccasihue y Pareja, 2019)

2.2.3. Aplicación de la Manufactura Esbelta en Empresas de Metalmecánica

En el sector de la metalmecánica, que abarca la fabricación de piezas metálicas y componentes mecánicos, la Manufactura Esbelta se ha convertido en un enfoque crucial para mejorar la eficiencia, reducir costos y mantener altos estándares de calidad. Las empresas de metalmecánica se enfrentan a desafíos únicos, como la gestión de inventarios de materiales, la optimización de los procesos de mecanizado y la reducción de los tiempos de producción. A continuación, se presentan algunas formas en que la Manufactura Esbelta se aplica en este sector:

2.3. Reducción de Tiempos de Setup

La reducción de los tiempos de setup es esencial en empresas de metalmecánica, donde la configuración de las máquinas para producir diferentes piezas puede llevar mucho tiempo y ser costosa. Para abordar este desafío, las empresas aplican el concepto de SMED (Single-Minute Exchange of Die), como se describe en (Urigoitia, 2023) El SMED busca reducir el tiempo necesario para cambiar entre diferentes configuraciones de producción a menos de diez minutos, mediante la estandarización de procesos, la simplificación de herramientas y la capacitación de

los operadores. Esto permite a las empresas aumentar la flexibilidad de sus líneas de producción y responder de manera más ágil a las demandas del mercado.

2.4. Gestión Visual y Flujo Continuo

En empresas de metalmecánica, la implementación de sistemas de gestión visual y líneas de producción en flujo continuo es fundamental para mejorar la eficiencia y la coordinación entre los equipos de trabajo. Los tableros Kanban y otras herramientas visuales permiten a los empleados monitorear el progreso del trabajo y tomar decisiones informadas en tiempo real, como se discute en (Dennis, 2022). Por otro lado, las líneas de producción en flujo continuo, donde el trabajo fluye de una etapa a la siguiente sin interrupciones, ayudan a minimizar los cuellos de botella y los tiempos de espera entre operaciones, aumentando así la productividad y reduciendo los costos de producción.

2.5. Mantenimiento Preventivo y Mejora Continua

La aplicación del Lean en empresas de metalmecánica promueve un enfoque proactivo hacia el mantenimiento preventivo y la mejora continua. Esto implica la participación activa de los empleados en la identificación y resolución de problemas, así como la implementación de soluciones efectivas para optimizar la eficiencia y la calidad, como se destaca en (Gómez-Meana Gutiérrez, 2023). Al implementar programas de mantenimiento preventivo, las empresas pueden reducir el tiempo de inactividad no planificado de las máquinas y prolongar su vida útil, lo que se traduce en mayores niveles de productividad y rentabilidad a largo plazo.

2.6. Optimización del Flujo de Materiales

En empresas de metalmecánica, la optimización del flujo de materiales es crucial para garantizar la disponibilidad oportuna de materias primas y componentes en el proceso de producción. La implementación de técnicas Lean, como el Just-In-Time (JIT) y la producción tirada (pull), permite a las empresas minimizar el inventario y reducir los costos asociados con el almacenamiento y la gestión de materiales. (Liker, 2024).

Esto se logra mediante una planificación precisa de la producción y la colaboración estrecha con proveedores para garantizar la entrega oportuna de materiales justo cuando se necesitan en la línea de producción.

2.7. Gestión de Calidad Total (TQM)

En empresas de metalmecánica, donde los estándares de calidad son críticos, la integración del Lean con la filosofía de Gestión de Calidad Total (TQM) es fundamental para garantizar la excelencia en la calidad de los productos. (Womack y Jones, 2003).

Esto implica la participación de todos los empleados en la identificación y resolución de problemas de calidad, así como el fomento de una cultura de mejora continua en la organización. Al enfocarse en la prevención de defectos en lugar de la detección posterior, las empresas pueden reducir los costos asociados con el retrabajo y las devoluciones, al tiempo que mejoran la satisfacción del cliente y la reputación de la marca.

2.8. Flexibilidad y Adaptabilidad

La Manufactura Esbelta promueve la flexibilidad y la adaptabilidad en empresas de metalmecánica mediante la implementación de sistemas de producción modular y la capacitación multifuncional de los empleados, como se explica en (Urigoitia, 2023). Al permitir que los empleados se desempeñen en múltiples roles y asignar recursos de manera flexible según las necesidades del momento, las empresas pueden adaptarse rápidamente a cambios en la demanda del cliente y mantener una ventaja competitiva en un mercado dinámico y altamente competitivo.

2.9. Reducción de Costos y Desperdicios

La aplicación del Lean en empresas de metalmecánica se centra en la identificación y eliminación de desperdicios en todos los aspectos del proceso, como se detalla en (Dennis, 2022). Esto incluye la reducción del tiempo de inactividad de las máquinas, el exceso de inventario, los movimientos innecesarios y los defectos en los productos finales. Al eliminar estos desperdicios, las empresas pueden reducir los costos operativos y mejorar la rentabilidad, al tiempo que aumentan la eficiencia y la calidad en todas las áreas de la organización.

2.9.1. Datos Necesarios para Aplicar la Manufactura Esbelta

Para aplicar con éxito la Manufactura Esbelta, es fundamental recopilar y analizar una amplia gama de datos relacionados con los procesos de producción y operaciones de la empresa. Estos datos proporcionan la base para identificar áreas de mejora, tomar decisiones informadas y medir el progreso hacia los objetivos establecidos (Womack y Jones, 2022).

- **Datos de Desperdicios**
Identificar y cuantificar los desperdicios presentes en los procesos de producción es un paso crítico en la aplicación del Lean Manufacturing. Estos desperdicios pueden incluir sobreproducción, tiempos de espera, movimientos innecesarios, inventario excesivo, entre otros (Dennis, 2022).
- **Datos de Tiempo y Ciclo**
Medir los tiempos de ciclo de los diferentes procesos y actividades en la producción es esencial para evaluar la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta a las demandas del cliente (Urigoitia, 2023).
- **Datos de Calidad**
Registrar y analizar la calidad del producto en cada etapa del proceso de producción es fundamental para garantizar la satisfacción del cliente y la competitividad de la empresa (Gómez, 2023).
- **Datos de Eficiencia**
Evaluar la eficiencia de los recursos utilizados en la producción, como la utilización de maquinaria y la productividad del personal, proporciona información valiosa sobre el rendimiento de los procesos y la optimización de recursos (Liker, 2024).
- **Datos de Inventarios**
Registrar los niveles de inventario en cada etapa del proceso de producción ayuda a identificar oportunidades para reducir el inventario y mejorar la eficiencia en la gestión de inventarios (Womack y Jones, 2022).
- **Datos de Demanda**
Analizar la demanda del mercado y las tendencias de los clientes permite anticipar y planificar la producción de manera más efectiva, asegurando una alineación adecuada entre la oferta y la demanda (Dennis, 2022).
- **Datos Financieros**
Evaluar los costos asociados con la producción, incluidos los costos laborales, de materiales y de operación, proporciona una visión integral del rendimiento económico de los procesos y operaciones (Urigoitia, 2023).

2.9.2. Expresión de Resultados

En la Manufactura Esbelta, la expresión de resultados juega un papel crucial en la evaluación del desempeño de los procesos y la eficacia de las iniciativas Lean implementadas. Estos resultados se traducen a menudo en una variedad de indicadores clave de rendimiento (KPIs) que reflejan el progreso hacia los objetivos establecidos y la mejora continua en la eficiencia operativa y la calidad del producto (Womack y Jones, 2022).

- **Tiempo de Ciclo**

El tiempo de ciclo, que representa el tiempo total requerido para completar un proceso o tarea, se utiliza como indicador clave para evaluar la eficiencia del proceso y la capacidad de respuesta a las demandas del cliente (Dennis, 2022). Se expresa en unidades de tiempo, como minutos, horas o días, y su reducción es un objetivo común en las iniciativas Lean.

$$\text{Tiempo de ciclo} = \frac{\text{Tiempo de producción meta}}{\text{Unidades producidas}}$$

- **Tasa de Productividad**

La tasa de productividad, definida como la cantidad de productos o unidades producidas por unidad de tiempo o recursos invertidos, se utiliza para medir la eficiencia de la producción y la utilización de recursos (Liker J., 2024). Se expresa en términos de productos por hora, por empleado o por máquina, y su aumento es un indicador de mejora en la eficiencia operativa.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Unidades de Producción}}{\text{Unidades de insumos}}$$

- **Inventario**

Los indicadores de inventario, que incluyen el inventario total, el inventario en proceso, el inventario de productos terminados y la rotación de inventario, se utilizan para evaluar la eficiencia de la gestión de inventario y la optimización de los niveles de inventario (Urigoitia, 2023). La reducción del inventario es un objetivo clave de la Manufactura Esbelta para eliminar desperdicios y mejorar la fluidez del flujo de trabajo.

- **Calidad**

Los indicadores de calidad, como las tasas de defectos, las tasas de reprocesamiento y las tasas de cumplimiento de especificaciones, se utilizan para evaluar la calidad del producto y la efectividad de los procesos de control de calidad implementados (Gómez, 2023). Se

expresan en términos de porcentaje de defectos, retrabajos o productos fuera de especificación, y su reducción es un objetivo clave para mejorar la satisfacción del cliente.

- Eficiencia Operativa

La eficiencia operativa se evalúa mediante indicadores como la utilización de la capacidad, el tiempo de inactividad planificado y no planificado, y la eficiencia de los equipos (Womack & Jones, 2022). Estos indicadores se expresan en términos de porcentaje de tiempo o capacidad utilizada, y su mejora es un objetivo fundamental de la Manufactura Esbelta para maximizar la productividad y reducir los costos operativos.

- Costos

Los indicadores de costos, como los costos totales de producción, los costos por unidad producida y los costos de desperdicios y retrabajos, se utilizan para evaluar la eficiencia económica de los procesos y las operaciones (Dennis, 2022). Se expresan en términos de valor monetario y su reducción es un objetivo clave para mejorar la rentabilidad y la competitividad de la empresa.

2.9.3. Gestión del Tiempo

La gestión del tiempo es un proceso fundamental para maximizar la eficiencia y la productividad tanto a nivel individual como organizacional. Según diversos autores, este concepto abarca un conjunto de prácticas sistemáticas que incluyen la planificación, organización, priorización y control del uso del tiempo disponible para alcanzar objetivos específicos.

Albert Figueras, en su libro "La fórmula del éxito", enfatiza que "la gestión eficaz del tiempo es esencial para alcanzar el éxito en cualquier ámbito. Establecer objetivos claros y desarrollar hábitos diarios efectivos son fundamentales para maximizar la eficiencia y minimizar el estrés".

Óscar Fernández Orellana, en "Productividad personal: Aprende a liberarte del estrés con GTD", propone que "GTD (Getting Things Done) es una metodología probada para gestionar eficazmente la carga de trabajo. Capturar todas las tareas, procesarlas adecuadamente y organizarlas de manera sistemática permite liberar la mente y mejorar la toma de decisiones".

Jeff Sutherland introduce Scrum en su libro "Scrum: El arte de hacer el doble de trabajo en la mitad de tiempo", explicando que "Scrum es un marco ágil que facilita la colaboración y la entrega incremental de valor. La gestión del tiempo se optimiza mediante sprints cortos y

priorización constante de tareas, lo que permite a los equipos responder de manera ágil a los cambios y entregar resultados de alta calidad de manera más eficiente".

Timothy Ferriss, en "La semana laboral de 4 horas", sugiere estrategias para maximizar la productividad al afirmar que "eliminar tareas no productivas, delegar eficazmente y automatizar procesos repetitivos son fundamentales para liberar tiempo y enfocarse en actividades de alto valor que generen impacto real".

Por último, Eric Ries en "El método Lean Startup" presenta que "Lean Startup promueve la gestión del tiempo de manera eficiente al validar rápidamente ideas a través de experimentos controlados. Minimizar el desperdicio y maximizar el aprendizaje validado son claves para adaptarse rápidamente al mercado y garantizar la innovación continua"

2.9.4. Componentes Clave:

Los elementos esenciales de la gestión del tiempo incluyen:

- **Planificación**

Consiste en establecer metas claras y detallar las acciones necesarias para alcanzarlas dentro de un marco temporal definido. La planificación efectiva permite anticipar obstáculos y asignar recursos adecuadamente.

- **Organización**

Implica estructurar las tareas y actividades de manera eficiente. Esto puede incluir la creación de agendas, listas de tareas y sistemas de seguimiento para asegurar una ejecución ordenada y oportuna.

- **Priorización**

Es el proceso de determinar la importancia relativa de las tareas y actividades en función de su impacto en los objetivos estratégicos. La adecuada priorización facilita la asignación de recursos limitados hacia actividades de mayor valor.

- **Control**

Involucra el monitoreo continuo del progreso hacia los objetivos establecidos y la realización de ajustes necesarios en el plan de acción. Esto asegura que las actividades se desarrollen según lo planificado, permitiendo corregir desviaciones y evitar retrasos significativos.

2.9.4.1. Dimensiones

La gestión del tiempo abarca varias dimensiones que son fundamentales para entender cómo se estructura y cómo afecta diferentes aspectos de la vida personal y organizacional. Aquí te detallo algunas de las dimensiones principales:

- **Análisis de procesos:** Realiza un análisis detallado de todos los procesos involucrados en la producción, desde la recepción del pedido hasta la entrega final del producto. Identifica cuellos de botella, puntos de espera y cualquier actividad que pueda retrasar el proceso.
- **Establecimiento de tiempos estándar:** Define tiempos estándar para cada etapa del proceso de producción. Esto te permitirá tener expectativas claras sobre cuánto tiempo debería tomar cada tarea y facilitará la identificación de desviaciones.
- **Priorización de tareas:** Implementa un sistema efectivo para priorizar las tareas. Identifica los pedidos urgentes y aquellos con fechas de entrega críticas y asegúrate de asignar recursos adecuados para cumplir con estos plazos.
- **Optimización de la logística interna:** Organiza el flujo de materiales de manera eficiente dentro de la planta. Minimiza los tiempos de espera entre etapas asegurando que los materiales y las herramientas estén disponibles cuando se necesiten.
- **Capacitación y empoderamiento del personal:** Capacita a tus empleados en técnicas de gestión del tiempo y promueve un ambiente donde se valore la eficiencia. Involucra a tu equipo en la identificación de mejoras y dales el poder de implementar cambios.
- **Seguimiento y mejora continua:** Establece indicadores clave de rendimiento (KPIs) relacionados con los tiempos de entrega y realiza un seguimiento regular de estos indicadores. Implementa un ciclo de mejora continua para identificar áreas de oportunidad y aplicar mejoras constantemente.

2.9.4.2. Técnicas y herramientas

Para evaluar la gestión del tiempo y su desempeño en general, así como cada una de sus dimensiones, existen varias técnicas y herramientas que pueden ser útiles. Aquí te menciono algunas:

- Encuestas y cuestionarios: Utilizados para recopilar datos sobre cómo los individuos perciben su propio manejo del tiempo y sus habilidades de gestión. Pueden incluir preguntas sobre la efectividad de la planificación, la organización de tareas, la capacidad de priorización, entre otros aspectos.
- Entrevistas estructuradas: Permiten obtener información detallada y específica sobre las prácticas de gestión del tiempo de individuos o equipos. Las preguntas pueden centrarse en cómo manejan su carga de trabajo diaria, cómo establecen metas y cómo manejan los imprevistos.
Registro de actividades y uso del tiempo: Mediante el seguimiento y la documentación detallada de cómo se emplea el tiempo durante el día. Esto puede realizarse a través de aplicaciones de seguimiento del tiempo, hojas de registro o diarios personales. Estos registros proporcionan datos concretos sobre dónde se invierte el tiempo y cómo se distribuyen las actividades.
- Matrices de Eisenhower: Una herramienta que ayuda a priorizar tareas según su urgencia y su importancia. Permite identificar rápidamente qué tareas son críticas y deben realizarse de inmediato, cuáles pueden programarse para más adelante, cuáles pueden delegarse y cuáles se pueden eliminar.
- Diagramas de Gantt: Son útiles para planificar y programar proyectos a lo largo del tiempo. Permiten visualizar las tareas en relación con su duración y sus dependencias, lo que facilita la gestión de plazos y recursos.
- Indicadores de desempeño (KPIs): Establecer KPIs específicos relacionados con la gestión del tiempo, como el cumplimiento de plazos, la reducción del tiempo dedicado a tareas no productivas, el aumento de la productividad por unidad de tiempo, entre otros.
- Revisiones periódicas y retroalimentación: Realizar evaluaciones regulares del desempeño personal o del equipo en cuanto a la gestión del tiempo. Esto puede incluir reuniones de revisión de proyectos, sesiones de retroalimentación individual o grupal, y la identificación de áreas de mejora continua.
- Benchmarking: Comparar las prácticas de gestión del tiempo con las mejores prácticas de la industria o con empresas de alto rendimiento. Esto puede proporcionar insights sobre cómo mejorar la eficiencia y la efectividad en el manejo del tiempo.

2.9.4.3. Indicadores Resultantes de la Aplicación de Técnicas de Gestión del Tiempo

La implementación efectiva de técnicas y herramientas de gestión del tiempo puede llevar a la medición de varios indicadores clave que reflejan tanto el rendimiento individual como organizacional. Estos indicadores son fundamentales para evaluar la eficacia y los resultados de las estrategias implementadas. A continuación, se detallan algunos de ellos:

- **Cumplimiento de Plazos**
Este indicador mide el porcentaje de tareas, proyectos o actividades completadas dentro de los plazos establecidos. Es crucial para evaluar la capacidad de planificación y ejecución en tiempo y forma.
- **Reducción del Tiempo Dedicado a Actividades No Productivas**
Este indicador cuantifica la disminución del tiempo empleado en tareas que no contribuyen directamente a los objetivos estratégicos. Refleja una mejora en la eficiencia al enfocarse en actividades de alto valor agregado.
- **Aumento de la Productividad por Unidad de Tiempo**
Este indicador evalúa la mejora en la cantidad o calidad del trabajo realizado por cada unidad de tiempo invertido. Es crucial para medir el impacto positivo en la eficiencia operativa.
- **Eficiencia en la Gestión del Tiempo**
Este indicador examina el uso efectivo del tiempo en relación con la planificación, organización y ejecución de actividades. Es esencial para evaluar la capacidad de optimizar recursos y minimizar desperdicios.
- **Mejora en la Satisfacción y Bienestar Personal**
Este indicador refleja el impacto positivo en la reducción del estrés y la mejora en el equilibrio entre el trabajo y la vida personal, contribuyendo al bienestar general.

2.9.5. Sistema de Producción por Proyecto

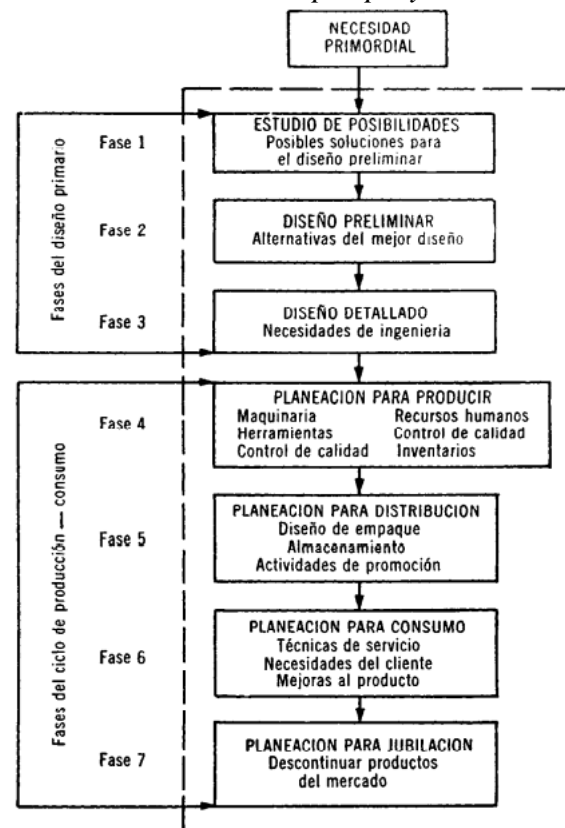
Los sistemas de producción por proyecto se caracterizan por la fabricación de bienes o servicios únicos en respuesta a especificaciones individuales de los clientes.

En lugar de producir grandes volúmenes de productos estándar, los sistemas de producción por trabajo están diseñados para manejar proyectos y pedidos que varían en tamaño, complejidad y características técnicas. Esto implica una gestión cuidadosa de recursos y tiempos

de producción, así como una planificación detallada que considera las necesidades específicas de cada trabajo individual. La flexibilidad y la capacidad de adaptación son clave en estos sistemas, permitiendo ajustes rápidos y eficientes según los requerimientos cambiantes del cliente y del proyecto en curso.

El sistema de producción por proyecto, corre, por decirlo así a través de una serie de fases.

Figura 4
Sistema de Producción por proyectos



Nota. Extraído de “Administración de los Sistemas de Producción” de (Velázquez, 2001).

2.9.5.1. Aspectos del Sistema de Producción por Proyecto

- Lista de Materiales y Materias Primas Necesarios: Una enumeración detallada de todos los insumos y materiales esenciales requeridos para llevar a cabo la tarea o proyecto asignado.

- Detalle de la Mano de Obra Especializada: Un desglose exhaustivo de las actividades específicas a realizar, junto con la asignación de horas requeridas para cada trabajador especializado involucrado en el proyecto.

El sistema de producción por encargo se caracteriza por las siguientes particularidades:

- Unicidad y Gran Tamaño del Producto: Cada producto es singular y de considerable tamaño y complejidad, lo cual implica extensos períodos de construcción. Ejemplos incluyen navíos, edificios y fábricas, con características exclusivas solicitadas por el cliente. Cada pedido se trata como un producto único, requiriendo coherencia en su identidad a lo largo de todo el proceso de producción.
- Variedad de Máquinas y Equipos Necesarios: La fabricación de estos productos requiere una diversidad de máquinas universales, dispositivos de transporte y equipos especializados. Es crucial disponer de talleres o instalaciones base donde se manufacturen los componentes del producto final, como patios de construcción para navíos o lugares de obra para la construcción civil. En otros contextos, como agencias de propaganda o hospitales, este lugar base es el equipo dedicado a clientes específicos.
- Diversidad de Operarios Especializados: La producción implica la participación de diversos operarios especializados que contribuyen en las diferentes etapas del producto final. La demanda de estos profesionales fluctúa según las necesidades del proyecto, afectando a electricistas, soldadores, carpinteros, entre otros, quienes pueden no tener un empleo constante. Lo mismo aplica para equipos en otros sectores especializados como la propaganda o la medicina.
- Fecha de Entrega Definida: Cada producto tiene un plazo específico de entrega que debe ser rigurosamente programado según los pedidos individuales. Cumplir con estas fechas es crucial para satisfacer las expectativas del cliente y mantener la eficiencia en la producción.
- Necesidad de Administradores y Especialistas Competentes: Este sistema demanda la presencia de administradores y especialistas altamente competentes para supervisar las operaciones en el taller base. Estos profesionales deben manejar eficazmente la administración de la producción, la gestión de la mano

de obra y los costos. El éxito del proyecto depende en gran medida de la capacidad del administrador o especialista asignado, como un ingeniero de obras para la construcción, un supervisor de cuentas en una agencia de propaganda, o un médico jefe en un equipo hospitalario. Es esencial que estos especialistas comprendan a fondo el plan de producción para su correcta implementación práctica.



CAPÍTULO III: DIAGNÓSTICO ACTUAL

En este capítulo, se llevará a cabo un diagnóstico detallado del estado actual de la empresa del rubro metalmecánico, con el fin de identificar las causas de los tiempos de entrega prolongados que afectan su desempeño y competitividad en el mercado. La comprensión de los procesos internos es fundamental para desarrollar una propuesta de mejora efectiva que permita optimizar la eficiencia operativa.

Se abordarán diversos aspectos, como el flujo de trabajo y la interacción con proveedores. A través de la recopilación y análisis de datos, se examinarán las áreas que presentan cuellos de botella y las ineficiencias que contribuyen a los retrasos en la entrega.

3.1. Descripción general de la empresa

La empresa objeto de estudio se desarrolla en el sector industrial metalmecánico, brindando servicios especializados a distintas industrias, en particular a la minería. A lo largo de su trayectoria, ha evolucionado en infraestructura, tecnología y organización interna, consolidando su posición como un actor relevante en su rubro. A continuación, se presenta una reseña histórica con los principales hitos que marcaron su desarrollo.

3.1.1. Análisis Interno y Externo de la empresa

3.1.1.1. Análisis Interno

La empresa presenta una realidad interna marcada por la necesidad de optimizar sus procesos productivos y recursos humanos. Aunque cuenta con personal con experiencia en el sector metalmecánico, se ha identificado falta de capacitaciones, lo que limita la mejora continua. Los flujos de trabajo son lineales y presentan cuellos de botella en etapas críticas, como las compras de materiales, reprocesos, generando retrasos en la producción y, por ende, en los plazos de entrega. Por último, la cultura organizacional muestra resistencia al cambio, dificultando la implementación de nuevas prácticas y la mejora de la comunicación interna.

3.1.1.2. Análisis Externo

En el entorno externo, la empresa se enfrenta a un mercado en crecimiento en el sector metalmecánico, impulsado por la inversión en infraestructura y una demanda creciente de productos de alta calidad y entrega rápida. Sin embargo, la competencia es intensa, con empresas que han adoptado exitosamente prácticas de manufactura esbelta, lo que les permite

ofrecer mejores tiempos de entrega y precios competitivos. La relación con los proveedores es estable, pero existen oportunidades para renegociar contratos y mejorar la calidad de los insumos. Asimismo, la empresa debe cumplir con regulaciones específicas que exigen atención constante para evitar sanciones y asegurar la satisfacción del cliente. En un contexto económico incierto, con fluctuaciones en los costos de materiales y mano de obra, la empresa debe ser ágil en su planificación y ejecución para mantener su competitividad en el mercado.

3.1.1.3. Análisis PESTEL

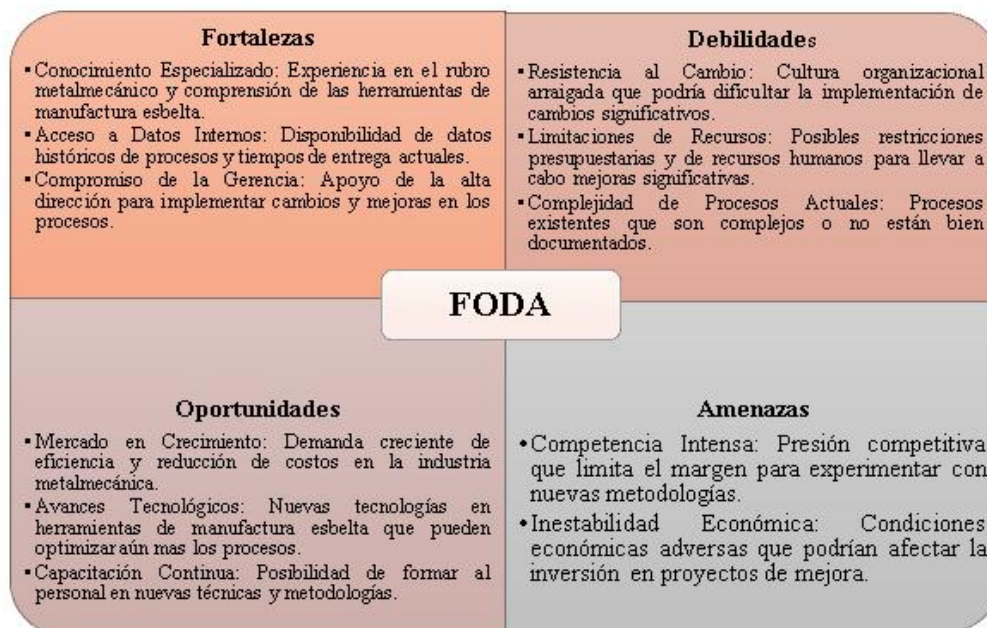
Tabla 4
Análisis PESTEL

P	E	S	T	E	L
<ul style="list-style-type: none"> Regulaciones Gubernamentales: Cambios en las políticas comerciales o industriales que podrían afectar las operaciones de la empresa, como regulaciones ambientales o incentivos fiscales para la modernización. 	<ul style="list-style-type: none"> Ciclos Económicos: Variaciones en la economía global o local que podrían impactar la demanda de productos metalmeccánicos y la capacidad financiera para invertir en mejoras de procesos. Costos de Materias Primas: Volatilidad en los precios de materias primas como el acero, que pueden afectar los costos de producción y, por ende, los tiempos de entrega. 	<ul style="list-style-type: none"> Cambio en Preferencias del Consumidor: Evolución en las expectativas de los clientes hacia tiempos de entrega más rápidos y servicios personalizados. Demografía Laboral: Cambios en la población laboral que podrían influir en la disponibilidad de habilidades necesarias para implementar herramientas de manufactura esbelta. 	<ul style="list-style-type: none"> Avances en Tecnología de Manufactura: Innovaciones tecnológicas como la automatización y la digitalización que podrían optimizar los procesos de producción y reducir los tiempos de entrega. Tecnología de la Información: Uso de sistemas integrados y plataformas digitales para mejorar la gestión de la cadena de suministro y la comunicación interna. 	<ul style="list-style-type: none"> Impacto Ambiental: Presión creciente para reducir la huella de carbono y adoptar prácticas sostenibles en la producción metalmeccánica, lo cual podría afectar las decisiones de inversión y operaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> Normativas de Salud y Seguridad: Cumplimiento con regulaciones de seguridad laboral que podrían influir en los métodos de trabajo y los tiempos de entrega. Normativas Comerciales Internacionales: Cambios en acuerdos comerciales que podrían afectar el flujo de comercio y los tiempos de entrega.

Nota. Elaboración propia.

3.1.1.4. Análisis FODA

Figura 5.
Análisis FODA



Nota. Elaboración propia.

3.1.2. Descripción de la Empresa

3.1.2.1. Base filosófica de la empresa

La misión y visión de la empresa son los pilares estratégicos que guían sus decisiones y planes de acción. Reflejan su propósito institucional, su enfoque hacia el cliente y sus metas a futuro. Estos enunciados permiten entender el enfoque organizacional y cómo se alinea con los objetivos de mejora propuestos en esta investigación.

- **Misión.**

Brindar servicios integrales de ingeniería anti abrasiva, servicios de mantenimiento, fabricaciones metalmeccánicas, comercialización de bombas y repuestos para minería y otras industrias; con insumos de calidad, equipos e infraestructura adecuada y con un equipo de trabajo integro, capacitado y comprometido con el logro de objetivos comunes; que coordinan esfuerzos para adaptar sus operaciones a los cambios, reconocimiento en todo momento la importancia de la mejora continua, velando siempre por su seguridad y la protección del medio ambiente.

- **Visión.**

Ser una empresa líder en servicios integrales de ingeniería anti abrasiva, reconocida a nivel nacional y encaminada a expandirse internacionalmente como una empresa de calidad, que opera con excelencia para satisfacer las exigencias del mercado, anticipándose y adaptándose a los cambios del mercado y la competencia.

3.1.3. Estructura organizacional

La estructura organizacional de la empresa define las relaciones jerárquicas y funcionales entre sus áreas, permitiendo distribuir responsabilidades, facilitar la toma de decisiones y establecer canales de comunicación claros. En la Figura 6 se presenta un organigrama sintetizado, centrado únicamente en las áreas directamente involucradas en la propuesta de mejora: producción, logística y calidad. Si bien la empresa cuenta con una estructura más amplia, se ha considerado pertinente mostrar solo las áreas relevantes para esta investigación, con el fin de mantener un enfoque específico y alineado a los objetivos del estudio.

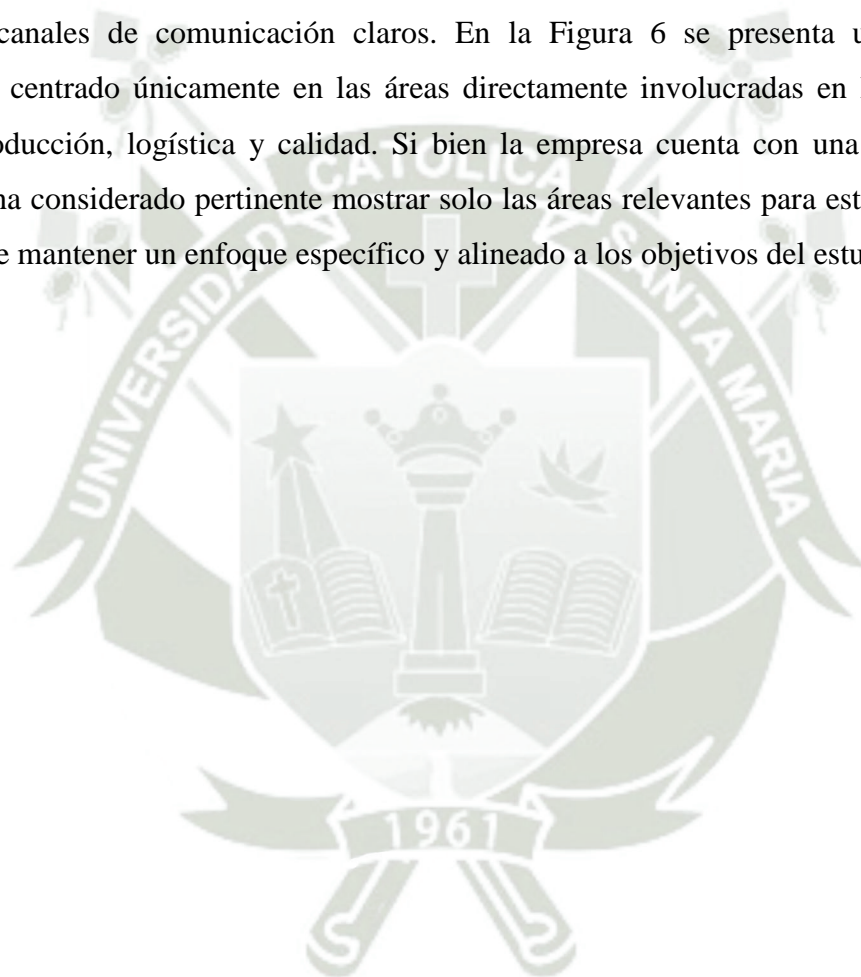
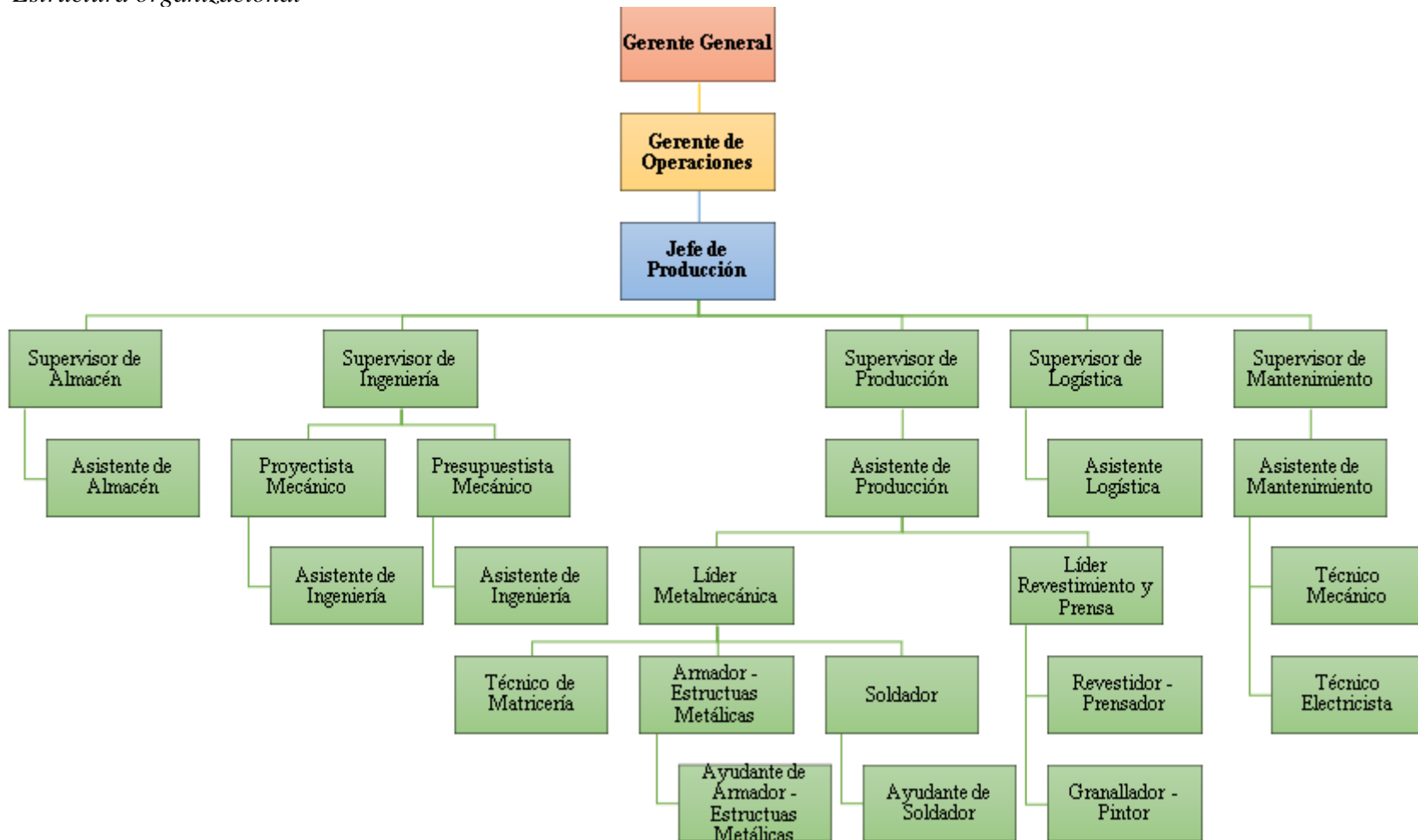


Figura 6
Estructura organizacional



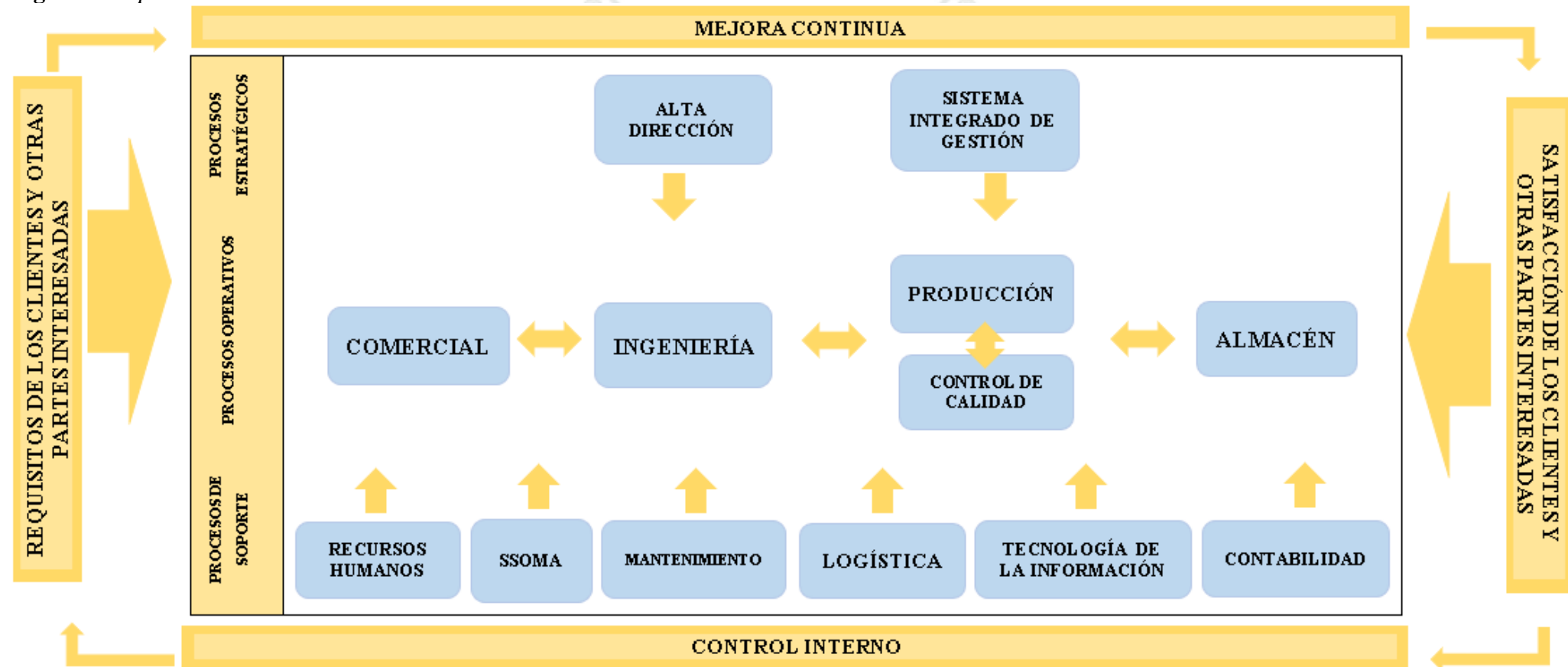
Nota. Elaboración propia

3.1.4. Procesos de la empresa

3.1.4.1. Mapa de procesos

El mapa de procesos permite visualizar de forma integral las actividades clave de la empresa, clasificadas en procesos estratégicos, operativos y de soporte. Esta representación es esencial para identificar las interacciones entre áreas y comprender el flujo de valor dentro de la organización. El siguiente esquema resume la estructura de procesos actual.

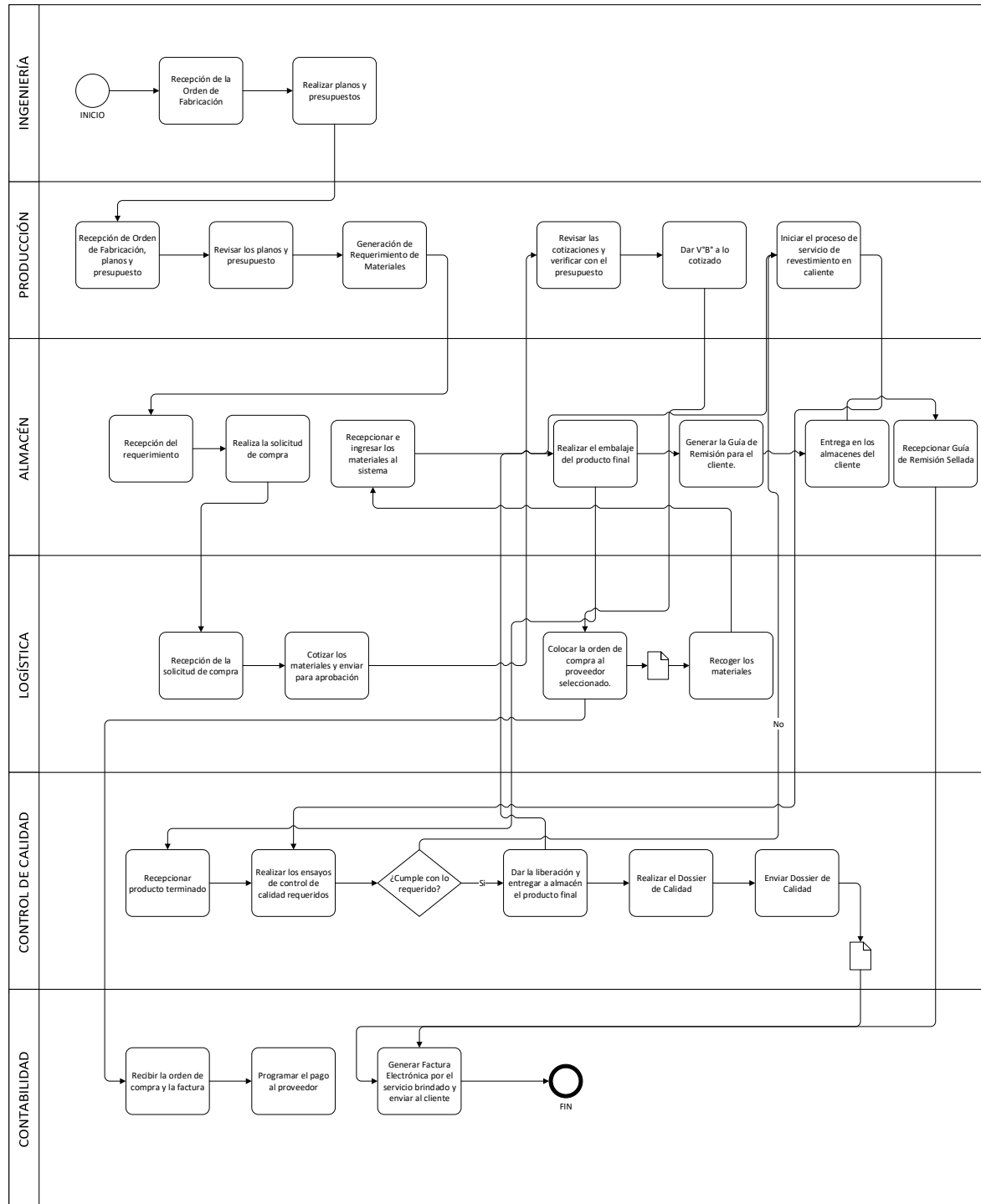
Figura 7 Mapa de Procesos



Nota. Elaboración propia

Figura 8

Flujograma del proceso de atención de una orden de fabricación con revestimiento en caliente.



Nota. Elaboración propia

La Figura 8 muestra el flujograma del proceso de atención de una orden de fabricación con revestimiento en caliente.

Este proceso inicia con la recepción de la orden por parte del área de ingeniería, continúa con la validación técnica, la ejecución del servicio en planta, el control de calidad, la emisión de la guía de remisión y finaliza con la generación de la factura por parte del área de contabilidad.

Este flujograma permite visualizar de manera clara las actividades clave, los responsables por área y la secuencia lógica de atención al cliente, lo cual es fundamental para identificar oportunidades de mejora en los tiempos de entrega.

3.1.5. Descripción de los procesos

3.1.5.1. Procesos de Producción:

El servicio de revestimiento en caliente constituye el proceso productivo principal de la empresa. El Diagrama de Operaciones del Proceso (DOP), mostrado en la Figura representa de manera secuencial las actividades desde la limpieza inicial de la pieza metalmecánica hasta el almacenamiento del producto terminado.

El diagrama utiliza simbología estándar de ingeniería industrial, considerando únicamente operaciones e inspecciones, ya que el objetivo es detallar las fases clave que agregan valor y los puntos de control de calidad en el flujo de trabajo.

Análisis técnico:

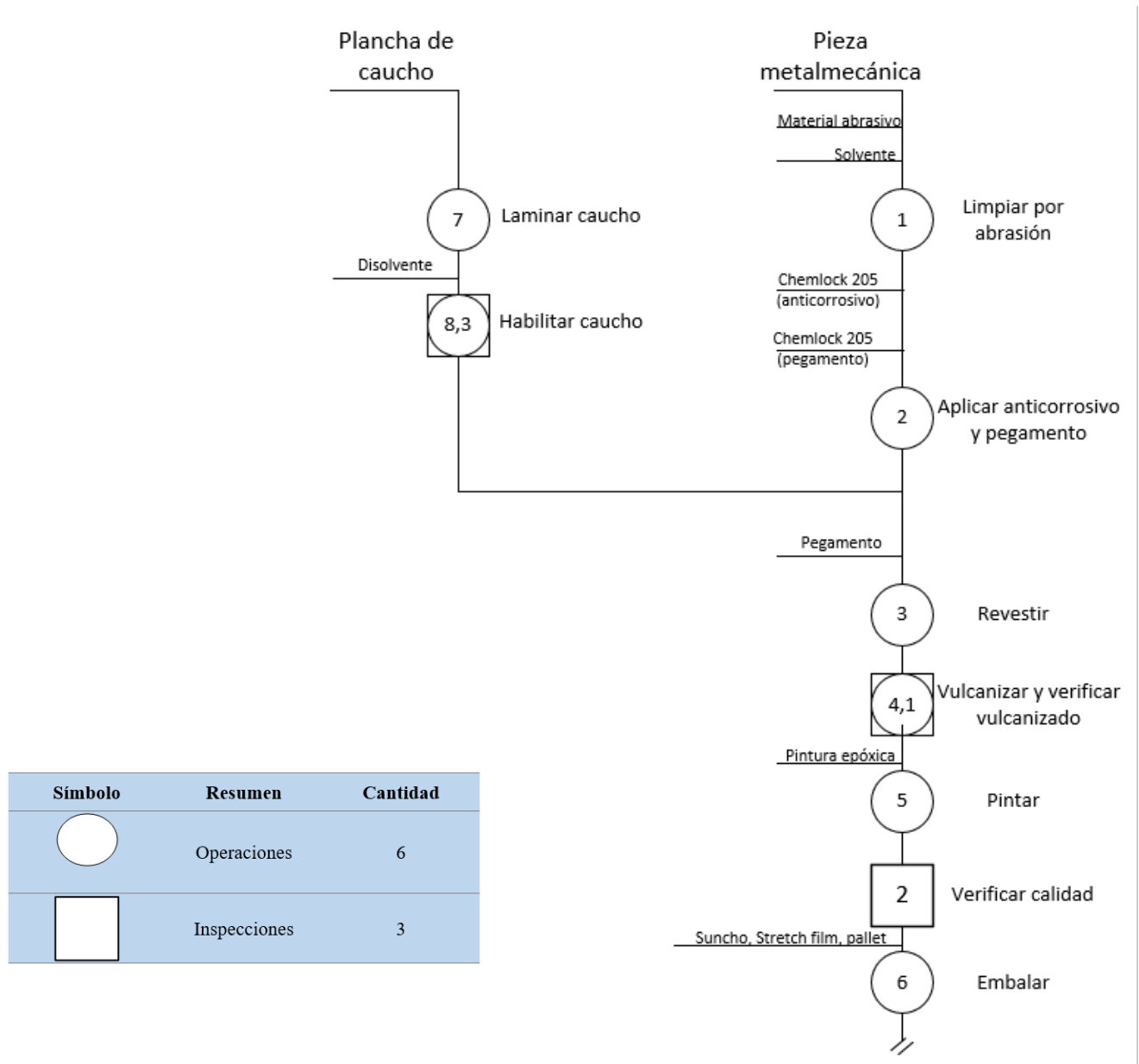
El DOP permite identificar que los puntos críticos se concentran en:

- La aplicación de adhesivo y secado, donde la ausencia de control puede generar reprocesos.
- El vulcanizado en autoclave, que concentra las operaciones más críticas del proceso productivo y condiciona los tiempos de entrega.

Esto confirma que, aunque el flujo está claramente definido, existen oportunidades de mejora en la estandarización y en la incorporación de controles que reduzcan reprocesos.

Figura 9

DOP – Revestimiento en caliente



Nota. Elaboración propia

3.1.5.2. Logística:

El área logística constituye un soporte clave del proceso productivo. La Figura 11 muestra el Diagrama de Operaciones del Proceso (DOP) de la compra de materiales, desde la solicitud del requerimiento hasta la recepción y almacenamiento en planta.

Al igual que en el proceso productivo, se han empleado únicamente los símbolos de operaciones e inspecciones, dado que representan de manera clara las etapas centrales del flujo y los puntos de control administrativo.

Análisis técnico:

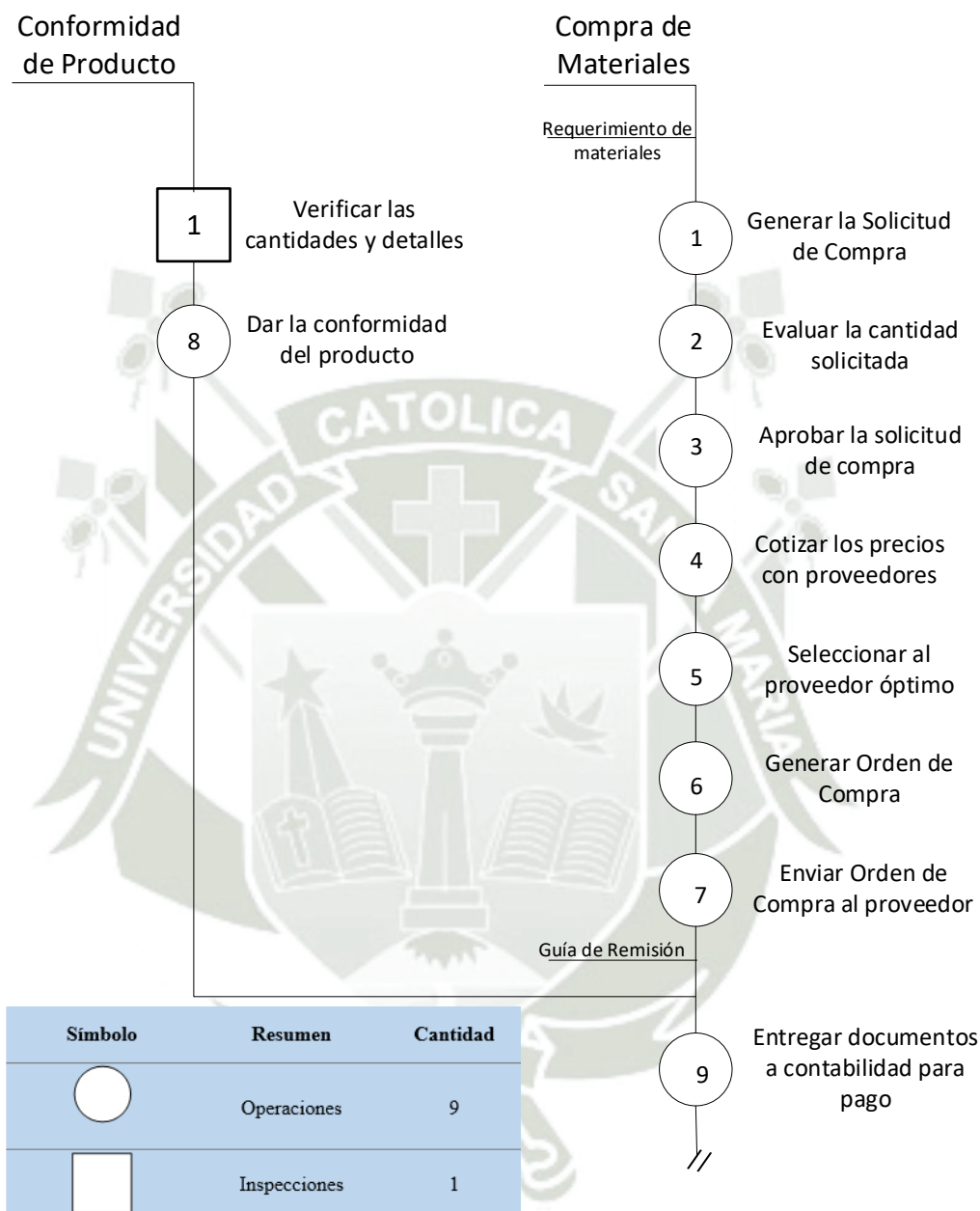
El DOP evidencia que las principales demoras logísticas ocurren en:

- La aprobación del requerimiento de compra, que suele ser lenta por la falta de un procedimiento estandarizado.
- La verificación y registro de materiales recibidos, donde no se cuenta con un sistema digital de control inmediato.

Estas limitaciones generan retrasos en la disponibilidad de insumos y, en consecuencia, impactan en los tiempos de entrega de los productos finales.

Figura 10

DOP – Compra de materiales



Nota. Elaboración propia

3.1.6. Análisis de desempeño de los procesos

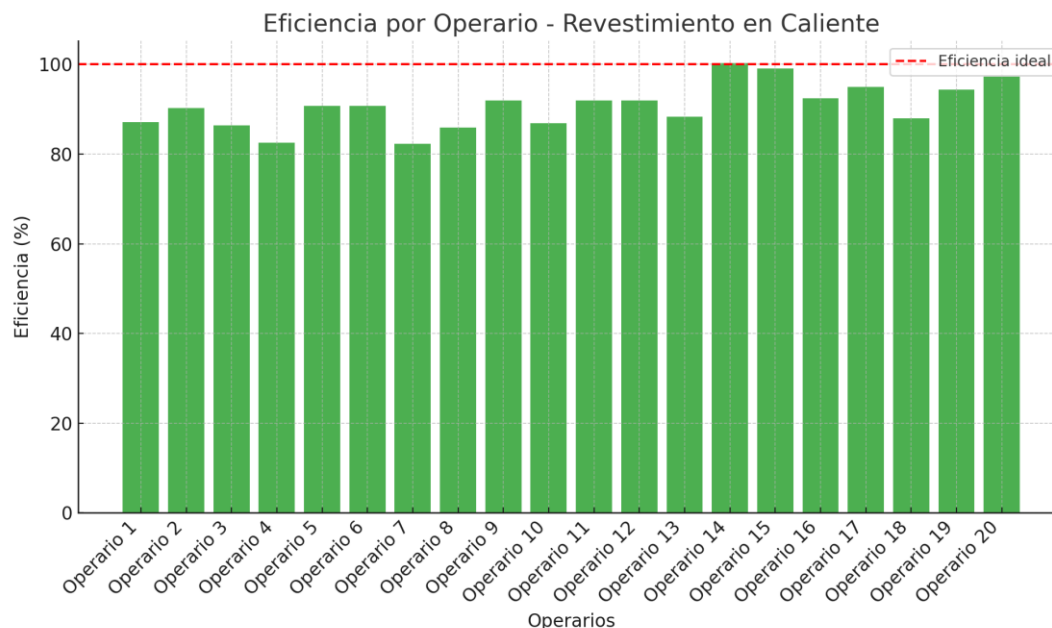
3.1.6.1 Procesos Productivos: Revestimiento en Caliente

Para evaluar el desempeño de los procesos de revestimiento en caliente con caucho de 6 mm, se analizaron los tiempos de producción de 20 operarios. Se utilizó como unidad de análisis el rendimiento en tiempo por metro cuadrado revestido (min/m^2), comparando el rendimiento real con el estándar establecido por la empresa. (Anexo 3).

El tiempo estándar definido fue de 48.02 minutos para cubrir 10 m^2 (es decir, $4.80 \text{ min}/\text{m}^2$), mientras que el tiempo real promedio registrado fue de 53.12 minutos, equivalente a $5.31 \text{ min}/\text{m}^2$.

A partir de estos datos, se construyó una base de datos donde se calcularon los indicadores de rendimiento y eficiencia individual por operario. Los resultados revelaron una eficiencia promedio del 89.55%, con variaciones entre operarios que indican oportunidades de mejora mediante entrenamiento, balanceo de carga y aplicación de herramientas de mejora continua como las 5S y el TPM.

Figura 11
Eficiencia por Operario – Revestimiento en Caliente



Nota. Elaboración propia

Tabla 5*Tabla de KPIs – Procesos Productivos*

Indicador	Valor
Tiempo Estándar por 10 m ² (min)	48.02
Tiempo Real Promedio (min)	53.12
Rendimiento Estándar (min/m ²)	4.80
Rendimiento Real Promedio (min/m ²)	5.31
Eficiencia Promedio (%)	90.66

Nota. Elaboración propia.**Interpretación:**

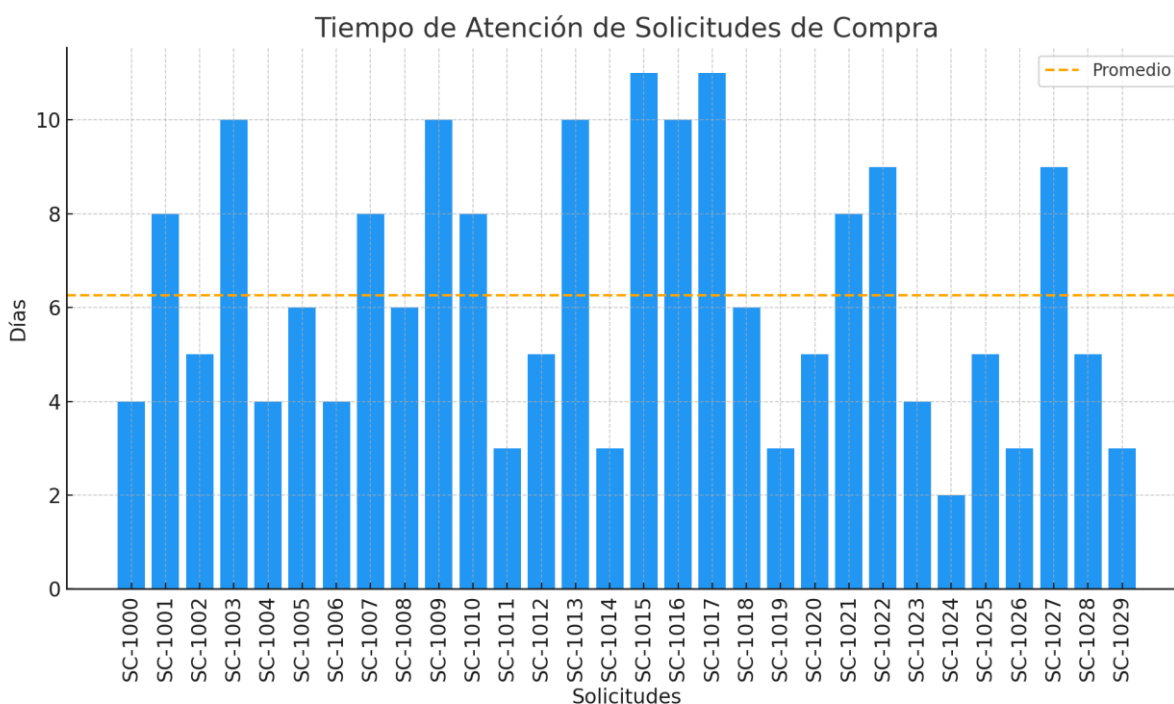
Los datos muestran que los operarios actualmente tardan en promedio 5.31 min/m², por encima del estándar de 4.80 min/m², lo cual representa una eficiencia del 90.66%. Esto indica una pérdida de rendimiento del 9.34% respecto al objetivo, siendo necesaria una intervención con herramientas de mejora continua.

3.1.6.1.1. Procesos Logísticos: Atención de Solicitudes de Compra

En el área logística, se simuló un registro de 30 solicitudes de compra para analizar los tiempos de atención desde su emisión hasta su cumplimiento. El tiempo promedio de atención fue de 6.63 días, con un rango que osciló entre 2 y 12 días. (Anexo 4)

Aunque no se cuenta con un estándar formal definido, se observa una dispersión considerable en los tiempos de respuesta, lo que sugiere la necesidad de establecer plazos internos de atención, definir prioridades según criticidad del requerimiento y aplicar herramientas de gestión visual o seguimiento digital para mejorar el control del proceso.

Figura 12
Tiempo de Atención de Solicitudes de Compra



Nota. Elaboración propia.

El tiempo de atención de solicitudes de compra mostrado en la Figura 12 corresponde a un promedio de 6.27 días, calculado a partir de los registros del año 2024 (Anexo 4). Cabe señalar que, según la política interna de la empresa, el tiempo estándar esperado para la atención de solicitudes es de 5 días. La diferencia entre el valor estándar y el valor real evidencia un desfase de 1.27 días, lo cual confirma la existencia de ineficiencias en el proceso logístico y justifica la necesidad de implementar acciones de mejora.

Tabla 6
Tabla de KPIs – Procesos Logísticos

Indicador	Valor
Solicitudes Analizadas	30
Tiempo Mínimo de Atención (días)	2
Tiempo Máximo de Atención (días)	11
Tiempo Promedio de Atención (días)	6.27
Desviación Estándar (días)	2.80

Nota. Elaboración propia.

Interpretación:

El tiempo promedio de atención de solicitudes es de 6.27 días, con una variabilidad significativa (hasta 11 días en algunos casos). Esta dispersión sugiere una falta de estandarización en el proceso de compras, lo cual puede generar cuellos de botella en la producción si los insumos no llegan a tiempo.

3.1.6.1.2. Análisis Cuantitativo del Cumplimiento de Entregas

Se realizó un análisis estadístico de 219 órdenes de trabajo emitidas durante el año 2024 (Anexo 5). Los resultados muestran que el tiempo promedio de entrega fue de 28.97 días, con una desviación estándar de 39.10 días, indicando una alta variabilidad en los plazos.

Además, se observó que solo el 56.16% de las órdenes fueron entregadas dentro del plazo comprometido, mientras que el 43.84% incurrió en retrasos. Esta situación confirma la necesidad de aplicar herramientas de manufactura esbelta para mejorar los procesos productivos.

Tras la implementación de la propuesta de mejora, se proyecta una reducción del tiempo promedio de entrega a 21.73 días y un aumento del porcentaje de cumplimiento a 75%, lo cual representa una mejora significativa en la eficiencia operativa de la empresa.

Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 7
Resumen análisis del cumplimiento de entrega

Indicador	Resultado
Total de órdenes analizadas	219
Tiempo promedio de entrega	28.97 días
Porcentaje de incumplimiento	43.84%

Nota. Elaboración propia

Interpretación:

Los datos reflejan un tiempo promedio de entrega de 28.97 días, lo cual se considera elevado frente a los estándares esperados del sector. Además, el 43.84% de las órdenes no cumplieron con la fecha de compromiso establecida con el cliente, lo que evidencia una alta tasa de incumplimiento. Esta situación genera impactos negativos en la satisfacción del cliente, la reputación de la empresa y su competitividad en el mercado.

Esta línea base cuantitativa servirá como punto de comparación para evaluar el impacto de la propuesta de mejora planteada en los capítulos siguientes.

3.2. Análisis de causa raíz

Previo a la construcción del diagrama de Ishikawa, se aplicó la herramienta de los 5 Porqués para identificar la causa raíz del problema principal: los tiempos excesivos de entrega.

Problema central:

Los tiempos de entrega de los productos son excesivos y no se cumplen los plazos establecidos.

Desarrollo del análisis:

Tabla 8
Los 5 Porqués

Ítem	Pregunta	Respuesta
1	¿Por qué los tiempos de entrega son excesivos?	Porque hay retrasos en la ejecución de los procesos productivos y logísticos.
2	¿Por qué hay retrasos en los procesos productivos y logísticos?	Porque existen reprocesos y fallas de coordinación entre las áreas clave.
3	¿Por qué ocurren reprocesos y fallas de coordinación?	Porque se cometen errores en actividades críticas como el corte de planchas, la adherencia de caucho y la validación de OT.
4	¿Por qué se cometen errores en estas actividades críticas?	Porque no existen mecanismos de control visual ni herramientas de prevención de errores que garanticen la correcta ejecución.
5	¿Por qué no existen mecanismos de control adecuados?	Porque la empresa no ha implementado herramientas de manufactura esbelta (5S, TPM y Poka-Yoke) ni ha capacitado al personal en su aplicación.

Nota. Elaboración propia

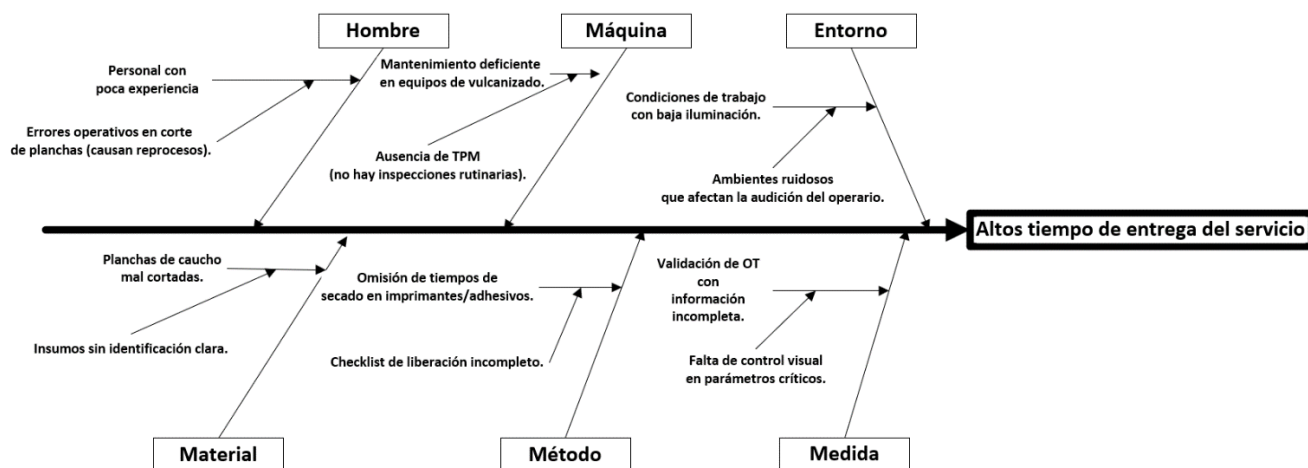
Interpretación:

La aplicación de la herramienta de los 5 Porqués permitió identificar que la raíz del problema de los tiempos de entrega está en la ausencia de herramientas de Manufactura Esbelta de control y prevención, lo que genera reprocesos, retrasos y fallas de coordinación. Las causas son de origen estructural: carencia de orden y limpieza sistemática, falta de mantenimiento

autónomo de los equipos y ausencia de mecanismos Poka-Yoke para evitar errores en el proceso.

Figura 13

Diagrama de Ishikawa



Nota. Elaboración propia

Para la elaboración del diagrama de Ishikawa se identificó como problema central los excesivos tiempos de entrega. La construcción se realizó a partir de sesiones de observación directa en el área de producción y entrevistas con operarios, supervisores y personal de mantenimiento, lo que permitió clasificar las causas en cinco categorías principales: Métodos, Mano de obra, Materiales, Maquinaria y Entorno. Bajo cada categoría se agruparon los factores que generan desorden, reprocesos y fallas en los equipos, hasta llegar a causas específicas como errores de corte, tiempos de secado no controlados o ausencia de mantenimiento autónomo. Esta metodología permitió organizar visualmente la relación entre causas y efectos, facilitando la selección de las herramientas de mejora más adecuadas.

Tabla 9

Tabla Resumen de Problemas, Causas y Herramientas

Problema	Causa raíz	Herramienta de solución	Concepto de la herramienta
Demora en los tiempos de entrega	Desorganización en áreas de trabajo e insumos mal ubicados	5S	Metodología que busca mejorar la organización, orden y limpieza en planta mediante cinco pasos: Clasificar, Ordenar, Limpiar, Estandarizar y Sostener.

Reprocesos en el corte de planchas de caucho

Medidas incorrectas y falta de guías de corte

Poka-Yoke

Sistema de prevención de errores que utiliza dispositivos o controles simples para evitar defectos en el proceso y asegurar resultados correctos desde la primera vez.

Retrabajos por fallas en la adherencia

Omisión de tiempos de secado en aplicación de imprimantes y adhesivos

Poka-Yoke

Implementa mecanismos visuales o digitales (temporizadores, alarmas, bloqueos) que garantizan el cumplimiento de parámetros críticos del proceso.

Checklist final incompleto en la liberación del producto

Omisión de pasos en la verificación de calidad

Poka-Yoke digital

Validación obligatoria con checklist vinculado a códigos QR que asegura que no se omitan controles en la liberación de piezas.

Paradas menores y fallas en equipos de vulcanizado

Ausencia de un mantenimiento autónomo

**TPM
(Mantenimiento Productivo Total)**

Estrategia que involucra a los operarios en el cuidado diario de los equipos, mediante inspección, limpieza y checklist rutinarios, buscando maximizar disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria.

Nota. Elaboración propia



CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE MEJORA

4.1. Resumen del estándar actual de los procesos productivos

La empresa en estudio se dedica a la fabricación metalmecánica y revestimiento de caucho de pieza metálicas, y sus procesos productivos abarcan las siguientes etapas clave: recepción de materiales, granallado, revestimiento, vulcanizado, pintado y entrega del producto final al cliente.

El flujo de trabajo dentro de la planta de producción sigue un esquema lineal. Aunque se utiliza un sistema de planificación para gestionar las órdenes de producción y el inventario, existen inconsistencias en los tiempos de entrega debido a diversas áreas de oportunidad en el proceso.

Para evaluar la eficiencia de los procesos y la puntualidad de las entregas, la empresa mide varios indicadores clave de desempeño (KPIs), entre los que destacan:

- **Tiempo estándar por operario:**
Este indicador mide el tiempo promedio necesario para que un operario complete su tarea asignada, considerando las mejores condiciones de trabajo y la eficiencia. Sin embargo, se ha identificado que la variabilidad en los tiempos de ejecución entre operarios y procesos no siempre se ajusta al tiempo estándar esperado, lo que contribuye a una baja eficiencia en la producción.
- **Tiempo de atención de solicitudes de compra:**
Este KPI mide el tiempo que transcurre desde que se solicita una compra de materiales hasta que la solicitud es atendida y la compra se procesa. El tiempo de respuesta es una variable crítica para evitar demoras en el suministro de materias primas y para garantizar que la producción no se detenga por falta de materiales. En muchos casos, el tiempo de atención de solicitudes de compra supera el objetivo, lo que genera cuellos de botella en la cadena de suministro.
- **Tiempo de entrega al cliente:**
Este es uno de los indicadores más relevantes en términos de satisfacción del cliente. Mide el tiempo desde que se recibe una orden hasta que el producto terminado es entregado al cliente. A pesar de los esfuerzos por mejorar la logística interna, los tiempos de entrega no

siempre son consistentes y, en algunos casos, los plazos establecidos no se cumplen, lo que impacta directamente en la satisfacción del cliente y en la competitividad de la empresa.

4.1.1. Problemas y Áreas de Mejora Identificadas

A través de la medición de los indicadores mencionados, se han identificado varias áreas de mejora que están afectando los tiempos de entrega y la eficiencia del proceso productivo:

- **Inconsistencias en el tiempo estándar por operario:**
Existe variabilidad en los tiempos de trabajo de los operarios, lo que se debe en parte a la falta de estandarización en las tareas y a la falta de capacitación continua. Esto genera ineficiencias en el proceso, afectando los tiempos de producción.
- **Retrasos en la atención de solicitudes de compra:**
El proceso de compra no está totalmente alineado con las necesidades de producción. Las demoras en la respuesta y la falta de una coordinación eficiente con los proveedores dificultan el cumplimiento de los plazos de entrega, ya que los materiales no siempre están disponibles cuando se necesitan.
- **Tiempos de entrega al cliente largos:**
Aunque los productos se entregan a los clientes, los tiempos de entrega varían dependiendo del proceso de producción y la gestión de los inventarios. La falta de visibilidad en el flujo de materiales y la planificación inadecuada contribuyen a la demora en la entrega final, lo que impacta negativamente la satisfacción del cliente y las relaciones comerciales.

4.2. La aplicación de las 5S

4.2.1. Seiri (Clasificar)

La **Fase 1** tiene como objetivo identificar y eliminar los materiales, herramientas e insumos innecesarios dentro de las áreas de trabajo. Este paso es fundamental para reducir el desorden, mejorar la organización y facilitar el flujo de trabajo en la planta. Al clasificar todos los elementos presentes en las áreas operativas, se podrá asegurar que solo se mantengan los materiales y equipos que son realmente necesarios para el proceso de producción, reduciendo tiempos muertos y aumentando la eficiencia.

4.2.1.1. Acciones a Tomar

- **Inventario Completo:** Realizar un inventario detallado de todas las herramientas, materiales e insumos en cada área de la planta.
- **Clasificación:** Clasificar todos los elementos en tres categorías:

- Necesarios: Elementos que son esenciales para el proceso y deben permanecer en el área de trabajo.
- Innecesarios: Elementos que no tienen utilidad en el proceso y deben ser eliminados o almacenados fuera del área de trabajo.
- Condicionalmente necesarios: Elementos que solo se utilizan en ocasiones específicas, como en mantenimientos o ajustes.
- **Eliminación o Reubicación:** Los materiales y herramientas innecesarios deben ser eliminados o reubicados para evitar el desorden y optimizar el espacio.

4.2.1.2. *Inventario Actual y Codificación*

El siguiente inventario refleja las herramientas, materiales e insumos clasificados en las tres categorías mencionadas, con su correspondiente codificación para facilitar la identificación y el control. La codificación sigue una estructura alfanumérica basada en el área de trabajo y un identificador único para cada artículo.

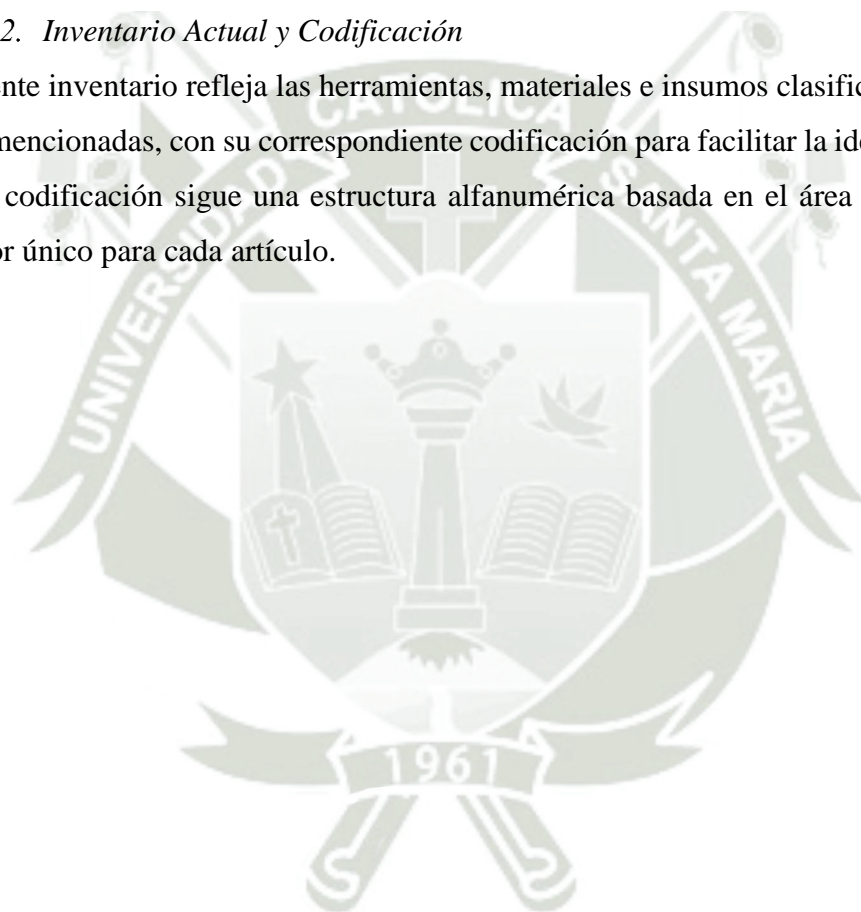


Tabla 10
Inventario Actual y Codificación

Código	Herramienta/Insumo	Descripción	Estado	Ubicación en la Planta
A001	Tuberías de alta temperatura	Tuberías para conducción de calor	Necesario	Área de autoclave y prensa
A002	Válvulas de control de presión	Válvulas para regulación de presión en el autoclave	Necesario	Área de autoclave
A003	Mangueras de alta temperatura	Mangueras para alta presión en el autoclave	Necesario	Área de autoclave
A004	Aceite mantenimiento para	Aceite hidráulico para mantenimiento preventivo	Condicional	Área de mantenimiento
A005	Guantes de protección	Guantes de seguridad para operarios	Innecesario	Área de herramientas generales
A006	Herramientas de ajuste	Herramientas para ajustes en máquinas	Condicional	Área de autoclave y prensa
B001	Prensa hidráulica	Prensa para revestimiento de piezas	Necesario	Área de prensa
B002	Mangueras hidráulicas	Mangueras para conectar prensa hidráulica	Necesario	Área de prensa
B003	Válvulas de control hidráulico	Válvulas para control del flujo hidráulico	Necesario	Área de prensa
B004	Aceite hidráulico	Aceite para sistema hidráulico de prensa	Condicional	Área de almacenamiento de insumos
B005	Soportes para piezas	Soportes para mantener las piezas durante el proceso	Necesario	Área de prensa
C001	Molino de caucho	Molino para procesar caucho	Necesario	Área de molino
C002	Rodillos de molienda	Rodillos de recambio para molino	Necesario	Área de molino
C003	Materiales de ajuste	Herramientas para ajuste de granulometría	Condicional	Área de molino
C004	Aceite para lubricación	Aceite para lubricación de los rodillos	Condicional	Área de molino
D001	Granalladora	Máquina para limpieza de piezas	Necesario	Área de granalladora
D002	Abrasivo para granallado	Material abrasivo para granallado	Necesario	Área de granalladora
D003	Equipo de protección auditiva	Audífonos de protección para ruido	Necesario	Área de granalladora
D004	Filtros para la granalladora	Filtros para la limpieza de la máquina	Condicional	Área de granalladora
E001	Compresora de pintura	Máquina para pintar piezas	Necesario	Área de compresora de pintura
E002	Pistolas de pintura	Pistolas para aplicar pintura	Necesario	Área de compresora de pintura
E003	Mangueras de pintura	Mangueras para conexión de compresora	Necesario	Área de compresora de pintura
E004	Filtros de aire	Filtros para purificación de aire	Condicional	Área de compresora de pintura

Nota. Elaboración propia.

Interpretación:

La codificación e inventario detallado de los insumos y herramientas permite identificar elementos necesarios, condicionales o innecesarios por cada área. Esta clasificación inicial es esencial para aplicar la fase de Seiri (clasificar) de la metodología 5S. Se detectó la existencia de herramientas innecesarias o en exceso (como guantes de protección), lo cual genera desorden y dificulta el acceso rápido a materiales prioritarios, impactando negativamente en la eficiencia de los procesos.

4.2.1.3. Codificación

- **Letra:** Indica el área o máquina a la que pertenece el material (A = Autoclave, B = Prensa, C = Molino de Caucho, D = Granalladora, E = Compresora de Pintura).
- **Número:** Identificador único para cada artículo dentro del área correspondiente.

4.2.1.4. Clasificación de Herramientas y Equipos por Máquina

- **Máquina de Autoclave**

Tabla 11

Clasificación de Herramientas y Equipos de Máquina de Autoclave

Herramienta/Insumo	Estado	Observaciones
Tuberías de alta temperatura	Necesario	Mantener en buen estado, deben ser revisadas regularmente para evitar fallas.
Válvulas de control de presión	Necesario	Verificar funcionalidad antes de cada uso.
Mangueras de alta temperatura	Necesario	Reemplazar cuando se observen desgastes o fisuras.
Aceite para mantenimiento	Condicional	Solo necesario en el mantenimiento preventivo.
Guantes de protección	Innecesario	Exceso de guantes almacenados de lotes anteriores.
Herramientas de ajuste	Condicional	Solo necesarias para ajustes o reparaciones específicas.

Nota. Elaboración propia.

Interpretación:

La tabla muestra que los componentes como tuberías, válvulas y mangueras son esenciales para el funcionamiento seguro de la autoclave y requieren mantenimiento constante. También se identifican elementos condicionales o innecesarios, lo cual facilita decisiones para reorganizar el espacio de trabajo y asegurar que solo estén disponibles los elementos críticos. Esto permite optimizar tiempos de búsqueda y reducir fallos en la operación.

- **Prensa**

Tabla 12

Clasificación de Herramientas y Equipos de la Prensa

Herramienta/Insumo	Estado	Observaciones
Prensa hidráulica	Necesario	Debe ser mantenida en óptimas condiciones para asegurar la presión adecuada.
Mangueras hidráulicas	Necesario	Inspeccionar periódicamente para detectar posibles fugas.
Válvulas de control hidráulico	Necesario	Verificar cada válvula antes del inicio de operaciones.
Aceite hidráulico	Condicional	Necesario solo para reposición o mantenimiento.
Herramientas de ajuste	Condicional	Útiles solo para realizar ajustes finos durante el proceso.
Soportes para piezas	Necesario	Se requiere para asegurar las piezas durante el proceso.

Nota. Elaboración propia.

Interpretación:

Se evidencia que casi todos los componentes de la prensa son clasificados como necesarios, lo que indica que este equipo requiere una atención prioritaria y continua para su óptimo desempeño. Esta información es clave para la planificación del mantenimiento y justifica implementar estrategias como TPM (Total Productive Maintenance) y listas de verificación diarias para evitar tiempos muertos o paradas inesperadas.

- **Molino de Caucho**

Tabla 13

Clasificación de Herramientas y Equipos del Molino de Caucho

Herramienta/Insumo	Estado	Observaciones
Molino de caucho	Necesario	Esencial para el proceso, debe ser revisado y limpiado frecuentemente.
Rodillos de molienda	Necesario	Mantener lubricados y verificar que no haya desgaste excesivo.
Materiales de ajuste para la molienda	Condicional	Solo necesarios para ajustes en la granulometría del caucho.
Aceite para lubricación	Condicional	Solo necesario en mantenimiento preventivo.
Dispositivos de seguridad	Necesario	Deben ser utilizados siempre para evitar accidentes durante la operación.

Nota. Elaboración propia.

Interpretación:

La clasificación permite identificar que, aunque el molino y sus componentes principales son necesarios, también existen insumos de uso condicional que pueden organizarse en zonas secundarias. Esta diferenciación mejora la gestión del espacio y facilita la implementación del orden visual (*Seiton*), contribuyendo a una operación más fluida y menos propensa a interrupciones por desorganización o falta de insumos clave.

- **Granalladora**

Tabla 14

Clasificación de Herramientas y Equipos de la Granalladora

Herramienta/Insumo	Estado	Observaciones
Granalladora	Necesario	Indispensable para el proceso de preparación de las piezas, debe estar en funcionamiento adecuado.
Abrasivo para granallado	Necesario	Reponer cuando se haya agotado el material de granallado.
Equipo de protección auditiva	Necesario	Es obligatorio para los operarios debido al ruido generado.
Herramientas de mantenimiento	Condicional	Solo necesarias para reparaciones o ajustes periódicos.
Filtros para la granalladora	Condicional	Solo necesarios cuando se haga mantenimiento de los sistemas de filtrado.

Nota. Elaboración propia.

Interpretación:

El análisis evidencia que los equipos y materiales de la granalladora tienen un alto grado de necesidad operativa, especialmente por los riesgos asociados al ruido y al uso de abrasivos. La correcta disposición y mantenimiento de estos elementos es crítica para la seguridad y continuidad del proceso. Además, la presencia de elementos condicionales como filtros o herramientas de mantenimiento permite programar intervenciones periódicas sin afectar la operación diaria.

- **Compresora de Pintura**

Tabla 15

Clasificación de Herramientas y Equipos de la Compresora de Pintura

Herramienta/Insumo	Estado	Observaciones
Compresora de pintura	Necesario	Fundamental para el proceso de pintura, debe estar en buen estado.
Pistolas de pintura	Necesario	Se requiere una pistola para cada tipo de pintura a utilizar.
Mangueras de pintura	Necesario	Asegurarse de que las mangueras estén sin fisuras para evitar derrames.
Filtros de aire	Condicional	Reemplazar cuando se observe saturación o falta de eficacia.
Aceite para mantenimiento	Condicional	Solo necesario durante las intervenciones de mantenimiento preventivo.

Nota. Elaboración propia

Interpretación:

La tabla refleja que todos los componentes principales de la compresora, como las mangueras, pistolas y la propia máquina, son considerados necesarios, mientras que los filtros de aire y

aceite solo se requieren en mantenimiento preventivo. Esta clasificación permite optimizar el espacio y priorizar el acceso a elementos críticos, reforzando la lógica de clasificación de la fase *Seiri* de las 5S. Además, al eliminar lo innecesario y ordenar según la utilidad, se mejora el flujo de trabajo y se reducen tiempos de preparación para el pintado.

4.2.1.5. Aplicación de la Metodología SLP para el diseño del layout

La metodología Systematic Layout Planning (SLP), propuesta por Muther, se emplea para sustentar de manera técnica la propuesta de redistribución del área de producción. A través del SLP se analizan las relaciones entre actividades, el flujo de materiales y las restricciones físicas del espacio, con el fin de obtener un layout que reduzca desplazamientos, evite cruces innecesarios y mejore la eficiencia operativa en el proceso de revestimiento en caliente.

En este apartado se desarrolla la aplicación del SLP para el área de producción analizada, considerando un espacio disponible de 14 m × 10 m.

4.2.1.5.1 Identificación de áreas del proceso

Para la aplicación del SLP se identificaron las áreas operativas que intervienen directamente en el flujo del proceso productivo:

- **A1:** Granalladora
- **A2:** Molino de caucho
- **A3:** Prensa hidráulica
- **A4:** Autoclave
- **A5:** Compresora de pintura
- **A6:** Almacén de materia prima (MP)
- **A7:** Almacén de producto terminado (PT)
- **A8:** Zona de carga y descarga
- **A9:** Ingreso de personal y pasillos de circulación

Estas áreas se utilizaron para desarrollar la Matriz REL y el diagrama relacional de espacios.

4.2.1.5.2 Matriz REL de relaciones entre áreas

La matriz REL (Relationship Chart) permite determinar el grado de cercanía que debe existir entre cada par de áreas, en función de:

- Secuencia del flujo de materiales.
- Frecuencia de movimientos entre procesos.
- Requerimientos de seguridad y salud ocupacional.
- Necesidad de supervisión y control.

Para ello se utilizaron las siguientes codificaciones:

- **A:** Absolutamente necesario
- **E:** Especialmente necesario
- **I:** Importante
- **O:** Ordinario
- **U:** No necesario
- **X:** Indeseable

En la Tabla 16 se presenta la matriz REL elaborada para el área de producción.

Tabla 16

Matriz REL de relaciones entre áreas del proceso

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
A1	–	E	A	A	I	I	I	U	O	E	X
A2	E	–	E	A	I	I	I	U	O	E	X
A3	A	E	–	A	A	E	E	U	A	O	U
A4	A	A	A	–	A	I	I	U	O	U	X
A5	I	I	A	A	–	A	A	O	O	U	U
A6	I	I	E	I	A	–	A	O	O	U	U
A7	I	I	E	I	A	A	–	O	O	U	U
A8	U	U	U	U	O	O	O	–	A	I	O
A9	O	O	A	O	O	O	O	A	–	A	U
A10	E	E	O	U	U	U	U	I	A	–	X
A11	X	X	U	X	U	U	U	O	U	X	–

Nota. Elaboración propia

La matriz evidencia que las áreas con flujo directo del proceso (granalladora, prensas, molino y almacenes) requieren una alta cercanía (relaciones A y E), mientras que la relación entre el ingreso de personal (A11) y la zona de carga y descarga (A1) se considera indeseable (tipo X), con el fin de evitar cruces entre peatones y equipos de movimiento de materiales.

4.2.1.5.3 Diagrama relacional de espacios

A partir de la matriz REL se construyó el diagrama relacional de espacios, en el cual se representan gráficamente las relaciones de cercanía entre las áreas identificadas. Este diagrama permite visualizar:

- El agrupamiento del núcleo productivo (A3, A4, A5, A6, A7).
- La ubicación conveniente de las zonas de recepción (A1, A2) al inicio del flujo.
- La ubicación del almacén de producto terminado y salida (A9, A10) al final del flujo.
- La separación del ingreso de personal (A11) respecto a las zonas de carga y descarga.

Tabla 17

Diagrama relacional de espacios del área de producción

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1 Granalladora	—							
A2 Molino	U-5	—						
A3 Prensa	U-5	E-2	—					
A4 Autoclave	U-5	I-3	A-1	—				
A5 Compresora	X-6	O-4	I-3	O-4	—			
A6 Almacén MP	O-4	I-3	I-3	I-3	U-5	—		
A7 Almacén PT	O-4	U-5	U-5	U-5	I-3	O-4	—	
A8 Zona Carga	I-3	U-5	O-4	O-4	O-4	E-2	A-1	—
A9 Ingreso Personal	U-5	O-4	O-4	U-5	U-5	O-4	U-5	U-5

Nota. Elaboración propia

El diagrama agrupa las áreas con mayor interrelación operativa y establece una secuencia lógica desde la recepción de materiales hasta la salida del producto terminado, sirviendo como insumo para el diseño del layout propuesto.

4.2.1.5.4 Generación y evaluación de alternativas de distribución

Con base en el diagrama relacional y en las dimensiones disponibles de la planta (14 m × 10 m), se generaron dos alternativas de layout:

- **Alternativa 1:** Distribución lineal, con flujo continuo desde la zona de carga y descarga hasta la salida de materiales, agrupando en el centro de la planta las áreas de granallado, prensas y molino de caucho.
- **Alternativa 2:** Distribución por agrupamiento de áreas, con una mayor separación entre procesos y recorridos más largos entre ciertas operaciones.

Para seleccionar la alternativa más adecuada, se evaluaron ambas propuestas utilizando criterios ponderados, de acuerdo con la metodología SLP. Los criterios considerados fueron:

- Distancia recorrida por los materiales.
- Continuidad del flujo del proceso.
- Seguridad operativa.
- Cumplimiento de las relaciones definidas en la matriz REL.
- Aprovechamiento del espacio disponible.

En la Tabla 18 se presenta la evaluación comparativa de las dos alternativas.

Tabla 18
Evaluación Ponderada De Alternativas De Layout

Criterio evaluado	Peso	Alternativa 1	Alternativa 2
Distancia recorrida	0.25	5	3
Flujo del proceso	0.20	4	3
Relación entre áreas (Matriz REL)	0.20	5	3
Seguridad industrial	0.15	4	4
Aprovechamiento del espacio	0.10	5	4
Riesgo por interferencias	0.10	5	3
Puntaje ponderado total	1.00	4.65	3.20
Alternativa seleccionada	—	Alternativa 1	—

Nota. Elaboración propia

Nota. La calificación se asignó en una escala de 1 a 5, donde 1 representa un desempeño deficiente y 5 un desempeño óptimo respecto al criterio evaluado.

Del análisis se observa que la Alternativa 1 obtiene un puntaje ponderado superior (4,65 frente a 3,20), principalmente por su menor distancia recorrida, mayor continuidad del flujo y mejor alineamiento con la matriz REL.

4.2.1.5.5 Selección del layout propuesto

En función de los resultados de la evaluación, se seleccionó la **Alternativa 1** como layout propuesto para el área de producción. Este diseño:

- Garantiza un flujo lineal desde la recepción de materiales hasta la salida de producto terminado.
- Reduce los recorridos de transporte entre las operaciones críticas del proceso.
- Mantiene una adecuada separación entre el ingreso del personal y las zonas de carga y descarga, mejorando la seguridad.
- Respeto las relaciones de cercanía establecidas en la matriz REL, especialmente entre las áreas de granallado, prensas, molino y almacenes.

El layout resultante de la aplicación de la metodología SLP se presenta en el siguiente apartado, donde se muestra la distribución física de las áreas en el espacio disponible de 14 m × 10 m.

4.2.1.6. Diseño de Layout (Distribución del Área de Trabajo)

El **layout** de la planta debe ser diseñado para optimizar el flujo de trabajo, reducir tiempos de desplazamiento y maximizar el espacio disponible. A continuación, se presenta un diseño de **layout** propuesto, considerando las características de cada máquina y área de trabajo:

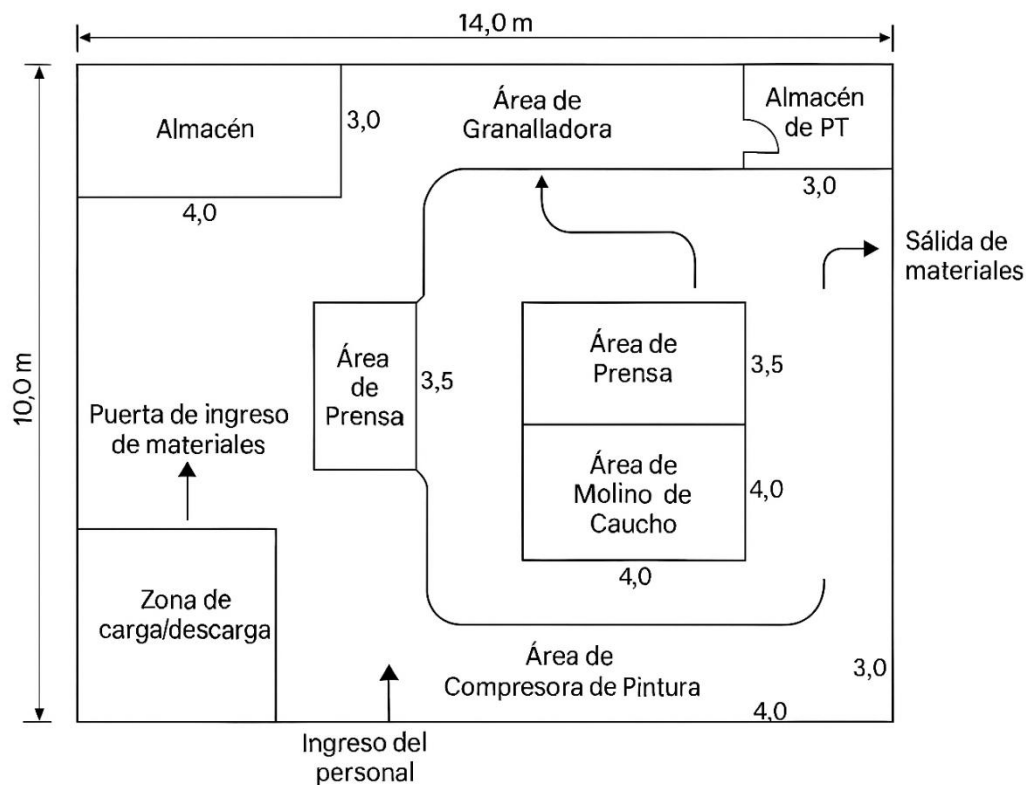
- Área de Autoclave y Prensa:
Autoclave y Prensa se colocan en áreas contiguas para facilitar el flujo de trabajo entre ambos equipos, permitiendo un proceso continuo entre el revestimiento de las piezas y la aplicación de calor.
- Área de Molino de Caucho:
El Molino de Caucho se ubica cerca del área de la Prensa, pero debe estar ligeramente alejado para evitar la interferencia entre los procesos. Esto facilita la manipulación del caucho procesado sin interrumpir el trabajo en la prensa.
- Área de Granalladora:

Debido al alto nivel de ruido que genera la Granalladora, debe ser colocada en una zona alejada de las otras máquinas. Idealmente, en una esquina o en un extremo de la planta.

- **Compresora de Pintura:**

La Compresora de Pintura debe estar ubicada en una zona externa de la planta, aislada de las otras áreas de trabajo para evitar la dispersión de partículas de pintura en el aire, pero accesible para las operaciones de pintura.

Figura 14
Diseño de Layout Propuesto



Nota. Elaboración propia

Layout propuesto a escala 1:100. Las medidas son referenciales sobre una planta de 14 m x 10 m, diseñadas para optimizar el flujo de trabajo y distribución de equipos en el área de producción.

4.2.2. Seiton (Ordenar)

La Fase 2 de la metodología 5S busca ordenar la planta y las herramientas en función de su utilidad, frecuencia de uso y ubicación. Para esto, es necesario aplicar un sistema eficiente de

clasificación y almacenamiento, que permita mejorar la accesibilidad y reducir tiempos de búsqueda, desplazamiento y posibles riesgos.

En el layout propuesto de la planta, se identifican las máquinas clave: Granalladora, Molino de Caucho, Autoclave, Prensa y Compresora de Pintura. Cada una de estas máquinas se ubicará estratégicamente para facilitar el acceso a los materiales y herramientas necesarias para su operación y mantenimiento.

4.2.2.1. Acciones a tomar

- Organizar el área de trabajo alrededor de las máquinas para asegurar un fácil acceso a las herramientas y materiales más usados.
- Implementar señales visuales como etiquetas o códigos de colores para identificar rápidamente las ubicaciones.
- Utilizar estantes, racks y cajas para organizar los insumos y herramientas.

4.2.2.1.1. Acción A: Organizar el área de trabajo alrededor de las máquinas para asegurar un fácil acceso a las herramientas y materiales más usados

Objetivo: Mejorar la distribución de las herramientas, repuestos y materiales en las zonas de trabajo cercanas a las máquinas clave, de modo que se optimicen los tiempos de acceso y operatividad.

- Distribución y Almacenaje Sugerido por Área (asociado a las máquinas)

A continuación, se presenta una tabla que detalla el sistema de clasificación y almacenamiento adecuado para cada máquina, con los materiales y herramientas asociadas.

Tabla 19

Sistema de clasificación y almacenamiento adecuado para cada máquina, con los materiales y herramientas asociadas.

Máquina	Zona de Almacenaje	Materiales y Herramientas
Granalladora	Almacén cercano a la granalladora	Material abrasivo, repuestos, filtros, herramientas
Molino de Caucho	Almacén cerca del molino de caucho	Repuestos de caucho, herramientas de mantenimiento
Autoclave	Almacén cercano al autoclave	Válvulas, tubos, repuestos, selladores
Prensa	Almacén cerca de la prensa	Válvulas, mangueras, repuestos de piezas hidráulicas
Compresora de Pintura	Almacén cercano a la compresora de pintura	Pistolas de pintura, mangueras, repuestos de compresora

Nota. Elaboración propia

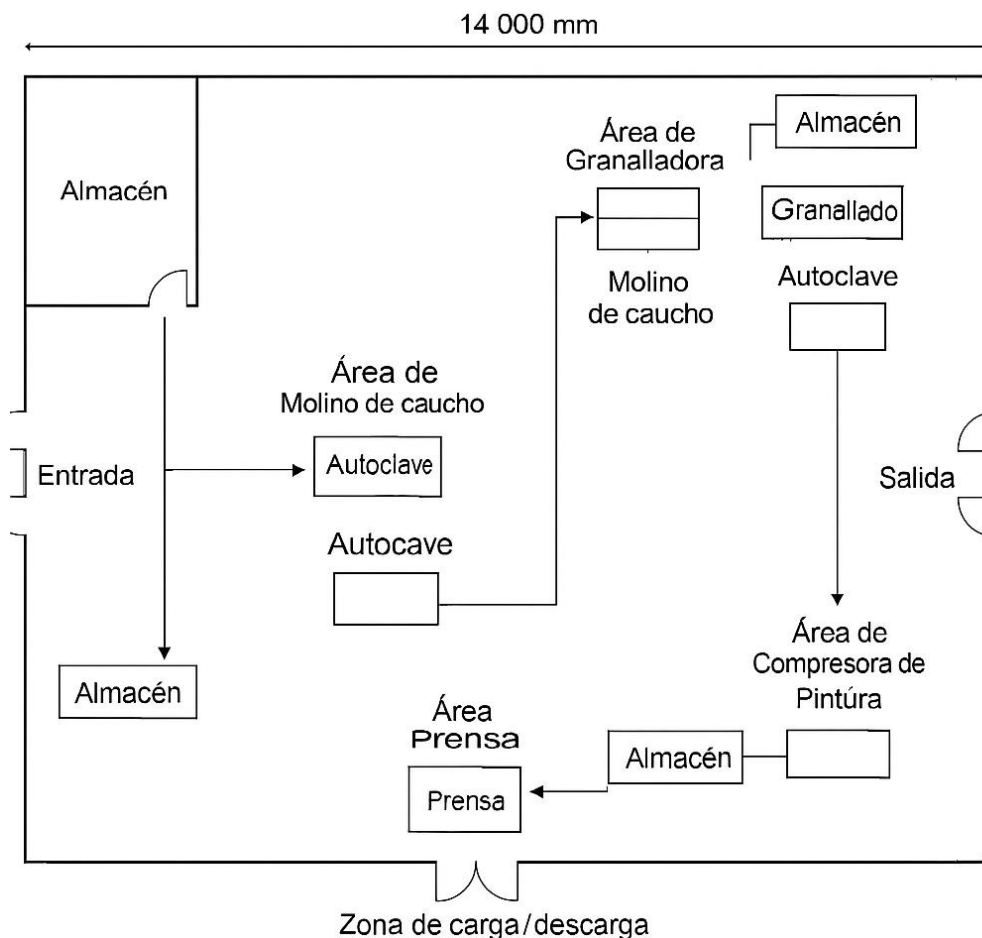
Interpretación:

La tabla establece una distribución eficiente de los materiales por área de trabajo. Cada máquina cuenta con un almacén cercano que contiene sus herramientas específicas, lo que minimiza desplazamientos innecesarios. Este sistema cumple con el principio de *Seiton* (*ordenar*), garantizando accesibilidad inmediata y reducción de tiempos de búsqueda. Esta acción también fortalece la trazabilidad y control de los materiales empleados por cada máquina.

- Diagramación del Layout con Almacenaje de Materiales y Herramientas
Este layout muestra las zonas de almacenamiento organizadas cerca de las máquinas clave, permitiendo un fácil acceso a los materiales y herramientas necesarias para su operación.

Figura 15

Diagramación del Layout con Almacenaje de Materiales y Herramientas



Nota. Elaboración propia.

Si bien la distribución de equipos mantiene la lógica funcional del layout propuesto en la Figura 16, en esta diagramación se han realizado pequeños ajustes para representar mejor la incorporación de zonas de almacenamiento por estación. Esta modificación responde al enfoque específico de la acción 5S, priorizando accesibilidad inmediata y trazabilidad de materiales, sin afectar el flujo operativo global ya planteado.

4.2.2.1.2. Acción B: Implementar señales visuales como etiquetas o códigos de colores para identificar rápidamente las ubicaciones.

Objetivo: Facilitar la localización rápida de materiales y herramientas mediante un sistema visual de identificación que emplee colores y etiquetas.

- **Etiquetado de Herramientas y Materiales:**
Cada herramienta y material almacenado será etiquetado con colores específicos según el área de uso. Esto facilitará la identificación de los elementos necesarios de forma rápida y eficiente.
- **Señalización en el Almacén:**
Utilizar señales visuales, como flechas, etiquetas y carteles, para indicar las ubicaciones y el acceso a las áreas de almacenamiento. Esto ayudará a mejorar el flujo de trabajo y reducir el tiempo invertido en la búsqueda de herramientas.
- **Coloración de Áreas de Trabajo:**
Asignar colores específicos a cada área de trabajo relacionada con las máquinas. Por ejemplo:
 - Granalladora: Etiquetas color amarillo para repuestos y filtros.
 - Molino de Caucho: Etiquetas color verde para repuestos de caucho.
 - Autoclave: Etiquetas color rojo para válvulas y tubos.
 - Prensa: Etiquetas color azul para válvulas y mangueras.
 - Compresora de Pintura: Etiquetas color naranja para pistolas de pintura y mangueras.

Tabla 20

Tabla de Colores y Materiales

Área	Color de Etiqueta	Materiales y Herramientas
Granalladora	Amarillo	Material abrasivo, repuestos, filtros
Molino de Caucho	Verde	Repuestos de caucho, herramientas
Autoclave	Rojo	Válvulas, tubos, repuestos, selladores
Prensa	Azul	Válvulas, mangueras, repuestos hidráulicos
Compresora de Pintura	Naranja	Pistolas de pintura, mangueras

Nota. Elaboración propia

Interpretación:

La asignación de colores por área (rojo para autoclave, azul para prensa, etc.) mejora la identificación visual y evita errores en la manipulación de materiales. Esta técnica de etiquetado responde al principio Lean de visualización de procesos (*Visual Management*), lo que facilita una reacción más rápida ante necesidades de reposición, reduce confusiones y fortalece el control operativo. Esto también impacta positivamente en la seguridad y organización del entorno de trabajo.

4.2.2.1.3. Acción C: Utilizar estantes, racks y cajas para organizar los insumos y herramientas

Objetivo: Asegurar que las herramientas, repuestos y materiales estén organizados de manera eficiente y accesible, utilizando sistemas de almacenamiento adecuados, como estantes, racks y cajas.

- **Estanterías y Racks:**
Utilizar estanterías y racks para organizar las herramientas y repuestos en áreas de fácil acceso. Esto permitirá almacenar las herramientas de manera ordenada y visible.
- **Cajas de Almacenamiento:**
Implementar el uso de cajas etiquetadas para almacenar materiales pequeños, como repuestos de caucho, filtros y otros insumos. Estas cajas se ubicarán en los estantes cercanos a las máquinas.
- **Accesibilidad y Organización:**
Los estantes y racks estarán organizados según la frecuencia de uso de los elementos. Las herramientas más utilizadas se almacenarán en las ubicaciones más accesibles.

Tabla 21
Organización de Almacenaje con Estantes y Cajas

Elemento	Ubicación	Tipo de Almacenaje
Repuestos de Caucho	Cerca del Molino de Caucho (C)	Caja de almacenamiento
Material Abrasivo	Cerca de la Granalladora (D)	Estantes
Filtros	Cerca de la Granalladora (D)	Estantes o Cajas
Válvulas y Mangueras	Cerca de la Prensa (B)	Estantes
Pistolas de Pintura	Cerca de la Compresora de Pintura (E)	Caja de almacenamiento

Nota. Elaboración propia.

Interpretación:

La estrategia de utilizar estantes y cajas por tipo de material y proximidad a las máquinas mejora sustancialmente la accesibilidad y orden. La disposición por cercanía garantiza que las herramientas más utilizadas estén siempre a la mano. Esta acción se alinea con los principios de ergonomía industrial y con la fase *Seiton*, aportando directamente a la reducción de tiempos muertos y mejor uso del espacio físico.

4.2.3. Seiso (Limpiar)

Mantener el lugar de trabajo limpio no solo es esencial para la seguridad, sino que también contribuye a mejorar la visibilidad, facilita el acceso a las herramientas, y extiende la vida útil de los equipos. En esta fase, se implementará un plan de limpieza sistemático para asegurar que todas las áreas y máquinas estén en condiciones óptimas.

4.2.3.1. Acciones a tomar

- Establecer un plan de limpieza regular para todas las áreas de la planta, con especial atención a los equipos principales (autoclave, prensa, molino).

Definir actividades de limpieza diarias, semanales y mensuales que aseguren la remoción de residuos y el mantenimiento de los equipos.

- Limpiar las máquinas y herramientas al finalizar cada turno de trabajo.

Asegurarse de que todas las máquinas, como la autoclave, la prensa y el molino, se limpien correctamente después de cada jornada para evitar acumulación de residuos y mejorar el rendimiento.

- Mantener las áreas de almacenamiento y las zonas comunes libres de residuos y suciedad.
- Las áreas de almacenamiento deben ser revisadas regularmente para asegurar que no haya materiales fuera de lugar o contaminantes que puedan afectar la operatividad de las máquinas.

4.2.3.1.1. Herramientas de limpieza necesarias

El siguiente cuadro muestra las herramientas de limpieza recomendadas y su frecuencia de uso según las áreas específicas de la planta.

Tabla 22

Herramientas de limpieza recomendadas y su frecuencia de uso según las áreas específicas de la planta.

Herramienta de limpieza	Frecuencia de uso	Área de aplicación
Aspiradora industrial	Diario	Área de autoclave y prensa
Trapos y toallas de microfibra	Diario	Máquinas y mesas de trabajo
Cepillos de cerdas duras	Semanal	Áreas con residuos duros (granalladora, prensa)
Productos de limpieza ecológica	Según necesidad	Limpieza general de la planta

Nota. Elaboración propia

Interpretación:

El plan de limpieza considera herramientas específicas (aspiradoras, trapos, cepillos, etc.) asignadas según el área y tipo de residuos. La frecuencia definida —diaria, semanal o según necesidad— permite mantener condiciones óptimas de higiene, prevenir fallos mecánicos por acumulación de residuos y prolongar la vida útil de los equipos. Esta tabla es clave para la implementación efectiva de la fase *Seiso* (*limpiar*) de las 5S.

4.2.3.1.2. Plan de limpieza regular: actividades y frecuencias

El plan de limpieza se organiza en función de la frecuencia de uso de cada herramienta de limpieza. Las siguientes actividades se llevarán a cabo para garantizar la limpieza efectiva de las máquinas, herramientas y áreas comunes de la planta.

4.2.3.1.3. Actividades Diarias:

- Limpieza de Máquinas Principales:
 - Limpiar el autoclave, prensa y molino de caucho con trapos y toallas de microfibra, para remover polvo y residuos generados durante la producción.
 - Usar la aspiradora industrial en las áreas cercanas al autoclave y prensa para remover polvo y residuos acumulados.
 - Limpiar las mesas de trabajo cercanas a cada máquina con trapos y toallas de microfibra.
- Revisión de Áreas de Almacenamiento:
 - Revisar y limpiar las áreas de almacenamiento, asegurando que no haya residuos o materiales fuera de lugar.

- Limpiar las superficies de los estantes y racks donde se almacenan herramientas y materiales.
 - Limpieza de Zonas Comunes:
- Limpiar las zonas comunes como pasillos, oficinas y áreas de descanso, eliminando basura o residuos visibles.

4.2.3.1.4. *Actividades Semanales:*

- Limpieza Profunda de Áreas con Residuos Duro:
- Limpiar las áreas con residuos difíciles de remover, como la granalladora, utilizando cepillos de cerdas duras.
- Limpiar las superficies metálicas de las máquinas principales y áreas de trabajo.
 - Revisión General de Herramientas:
- Inspeccionar y limpiar herramientas que no se utilizan a diario, asegurando que se encuentren en buen estado de funcionamiento.

4.2.3.1.5. *Actividades Mensuales:*

- Revisión y Mantenimiento General de las Máquinas:
- Realizar una limpieza general de todas las máquinas (autoclave, prensa, molino) utilizando productos de limpieza ecológicos, asegurando que no queden residuos de aceite, grasa o caucho que puedan obstruir el funcionamiento.
- Limpieza de Equipos Adicionales:
- Limpiar equipos adicionales como la compresora de pintura, asegurando que estén libres de polvo o partículas que puedan afectar su funcionamiento.

4.2.3.2. *Resumen del Plan de Limpieza*

A continuación, se detalla el plan de limpieza organizado por áreas y frecuencias de las actividades:

Tabla 23

Plan de limpieza organizado por áreas y frecuencias de las actividades

Actividad	Herramienta Utilizada	Frecuencia	Área de Aplicación
Limpieza de máquinas principales	Trapos y toallas de microfibra, aspiradora industrial	Diario	Autoclave, prensa, molino
Revisión de áreas de almacenamiento	Trapos, aspiradora industrial	Diario	Estantes y racks
Limpieza de zonas comunes	Trapos, aspiradora	Diario	Pasillos, oficinas, áreas comunes

Limpieza profunda de áreas con residuos duros	Cepillos de cerdas duras	Semanal	Granalladora, prensa
Revisión de herramientas	Trapos y toallas de microfibra	Semanal	Herramientas, estantes
Limpieza general de máquinas	Productos de limpieza ecológica	Mensual	Autoclave, prensa, molino
Limpieza de equipos adicionales	Trapos, productos de limpieza ecológica	Mensual	Compresora de pintura

Nota. Elaboración propia

Interpretación:

El plan de limpieza establece una rutina clara y diferenciada por tipo de actividad, herramienta utilizada y área. La programación diaria, semanal y mensual asegura la continuidad de la limpieza sin interferir en la producción. Esta planificación permite mantener condiciones óptimas en la planta, evita fallos por residuos y promueve una cultura de orden. Esta acción se relaciona directamente con la fase *Seiso (limpieza)* de las 5S.

4.2.4. Seiketsu (Estandarizar)

La fase 4 de la metodología 5S se centra en la estandarización de las prácticas de orden y limpieza para garantizar que las 5S se implementen correctamente de manera constante en toda la planta. En esta fase se establecerán protocolos estandarizados, se crearán listas de verificación para monitorear la correcta ejecución y se desarrollará un plan de capacitación para asegurar que todo el personal esté adecuadamente preparado.

4.2.4.1. Acciones a tomar

- Establecer protocolos estandarizados de orden y limpieza para cada máquina y área de trabajo. Establecer procedimientos detallados que aseguren la correcta ejecución de las 5S de forma constante y uniforme en todas las áreas de trabajo.
- Desarrollar listas de verificación diarias y semanales para la revisión de herramientas, equipos y limpieza. Crear un sistema para monitorear de manera continua que se cumplan los estándares de limpieza y organización en la planta.
- Capacitar a todo el personal en la correcta implementación de las 5S, asegurar que todo el personal conozca y comprenda los principios de las 5S y cómo aplicarlas en su entorno de trabajo.

4.2.4.1.1. Acción A: Protocolos Estandarizados

A continuación, se proponen protocolos estandarizados para las principales actividades relacionadas con las 5S en las máquinas y áreas de trabajo de la planta.

Tabla 24

Protocolos Estandarizados

Actividad	Responsable	Frecuencia	Detalles
Revisión de herramientas	Supervisor	Diario	Verificar que todas las herramientas estén en su lugar y en condiciones operativas.
Limpieza del área de autoclave	Operador	Diario	Limpiar después de cada turno para evitar la acumulación de residuos de caucho.
Limpieza del área de prensa	Operador	Diario	Limpiar después de cada turno, especialmente los componentes hidráulicos.
Limpieza del molino de caucho	Operador	Diario	Limpiar después de cada uso para evitar la acumulación de caucho.
Inspección de máquinas	Supervisor	Semanal	Realizar una revisión general de todos los equipos para detectar posibles fallas o acumulación de suciedad.
Revisión de estantes y racks	Supervisor/Operador	Semanal	Verificar que las herramientas y materiales estén organizados correctamente.
Inspección de equipos de pintura	Supervisor	Mensual	Realizar una inspección detallada de la compresora y las pistolas de pintura.

Nota. Elaboración propia

Interpretación:

Los protocolos estandarizados permiten que cada tarea de orden y limpieza se ejecute de manera uniforme, sin depender de la experiencia o criterio individual del operario. Asignar responsables y definir frecuencias asegura el cumplimiento de los estándares de calidad. Esta estandarización garantiza la sostenibilidad del sistema y refuerza la fase *Seiketsu* (estandarizar) de las 5S.

4.2.4.1.2. Acción B: Listas de Verificación

Las listas de verificación servirán para asegurar que todos los puntos de control se cumplan de manera sistemática. A continuación, se presentan ejemplos de listas de verificación tanto diarias como semanales.

Tabla 25

Listas de Verificación Diarias

Actividad	Responsable	Estado	Comentarios
Revisión de herramientas	Supervisor	<input type="checkbox"/> Completo <input type="checkbox"/> Pendiente	Verificar ubicación y estado de las herramientas
Limpieza del área de autoclave	Operador	<input type="checkbox"/> Completo <input type="checkbox"/> Pendiente	Limpiar la máquina y área circundante.
Limpieza del área de prensa	Operador	<input type="checkbox"/> Completo <input type="checkbox"/> Pendiente	Limpiar la prensa y eliminar residuos hidráulicos.

Limpeza del molino de caucho	Operador	<input type="checkbox"/> Completo <input type="checkbox"/> Pendiente	Limpiar el molino de caucho, asegurando que no haya residuos.
Revisión de áreas de almacenamiento	Supervisor/Operador	<input type="checkbox"/> Completo <input type="checkbox"/> Pendiente	Asegurarse de que las herramientas estén en su lugar.

Nota. Elaboración propia

Interpretación:

Las listas de verificación diarias actúan como mecanismos de control visual inmediato para supervisar que las tareas críticas —como la limpieza de áreas productivas y la revisión de herramientas— se ejecuten a tiempo. Su uso contribuye a minimizar fallas por descuido, promueve la disciplina y facilita auditorías internas continuas.

Tabla 26

Lista de Verificación Semanal

Actividad	Responsable	Estado	Comentarios
Inspección de máquinas (autoclave, prensa, molino)	Supervisor	<input type="checkbox"/> Completo <input type="checkbox"/> Pendiente	Inspección visual de las máquinas para detectar fallas o residuos.
Limpeza profunda de equipos	Operador	<input type="checkbox"/> Completo <input type="checkbox"/> Pendiente	Usar productos ecológicos y cepillos para limpiar áreas difíciles.
Revisión de estantes y racks	Supervisor/ Operador	<input type="checkbox"/> Completo <input type="checkbox"/> Pendiente	Verificar que las herramientas estén correctamente almacenadas.
Revisión de la compresora de pintura	Supervisor	<input type="checkbox"/> Completo <input type="checkbox"/> Pendiente	Inspeccionar y limpiar la compresora de pintura.

Nota. Elaboración propia

Interpretación:

Complementando a las tareas diarias, la verificación semanal permite una revisión más profunda de los equipos, herramientas y zonas auxiliares como estantes o la compresora. Esto asegura la identificación temprana de fallas o acumulación de residuos. La constancia en la aplicación de estas listas refuerza la mejora continua y la prevención de desviaciones operativas.

4.2.4.1.3. Acción C: Plan de Capacitación

El éxito en la implementación de las 5S depende de la correcta formación y motivación del personal. Se propone el siguiente plan de capacitación para todo el personal de la planta.

Objetivos del Plan de Capacitación:

- Asegurar que todos los empleados entiendan la importancia de las 5S y cómo aplicar cada fase.

- Fomentar la responsabilidad individual y colectiva en la implementación de las 5S.

Garantizar que el personal sea capaz de realizar las tareas diarias, semanales y mensuales de acuerdo con los protocolos establecidos.

Tabla 27
Estructura del Plan de Capacitación

Tema	Contenido	Responsable	Frecuencia
Introducción a las 5S	Explicación de las 5S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke) y su importancia.	Supervisor Calidad	de Inicial
Fase 1: Seiri (Clasificar)	Clasificación de materiales y herramientas, eliminación de artículos innecesarios.	Supervisor Operaciones	de Inicial
Fase 2: Seiton (Ordenar)	Organización del área de trabajo, distribución de herramientas y materiales.	Supervisor Operaciones	de Inicial
Fase 3: Seiso (Limpiar)	Limpieza de máquinas y herramientas, áreas de trabajo, protocolos de limpieza.	Supervisor Mantenimiento	de Inicial
Fase 4: Seiketsu (Estandarizar)	Estandarización de procedimientos de trabajo y uso de listas de verificación.	Supervisor Calidad	de Inicial
Fase 5: Shitsuke (Sostener)	Mantener la disciplina, revisión de procesos, motivación para seguir las 5S.	Gerente de Planta	Anual
Capacitación de mantenimiento preventivo	Técnicas de mantenimiento preventivo de equipos (autoclave, prensa, molino).	Técnico Mantenimiento	de Anual

Nota. Elaboración propia

Interpretación:

El plan de capacitación tiene un enfoque integral, abarcando desde la introducción a las 5S hasta temas específicos como mantenimiento preventivo. La asignación clara de responsables y la periodicidad aseguran que todos los colaboradores comprendan su rol en el sistema Lean. Esta capacitación es fundamental para lograr el cambio cultural requerido y sostener la mejora implementada.

4.2.4.2. Métodos de Capacitación:

- **Sesiones teóricas:** Para explicar los principios de las 5S y cómo implementarlas en el entorno de trabajo.
- **Sesiones prácticas:** Talleres donde los empleados aplican lo aprendido en su área de trabajo.

- **Evaluaciones:** Pruebas de conocimiento para asegurar que los empleados comprendan y puedan aplicar correctamente las 5S.

De esta manera, se busca mantener los estándares establecidos mediante rutinas claras y controladas por medio de listas de verificación.

Si bien la herramienta de estandarización de procesos no se ha desarrollado como un apartado independiente dentro de esta propuesta, su aplicación se encuentra integrada en la fase Seiketsu. A través de la elaboración de protocolos operativos, listas de verificación diarias y semanales, así como auditorías sistemáticas, se garantiza que las actividades críticas se realicen de manera uniforme y controlada. Estas acciones permiten reducir la variabilidad en la ejecución de tareas y asegurar la continuidad operativa bajo estándares definidos.

4.2.5. Shitsuke (Sostener)

La fase 5 de la metodología 5S, conocida como Shitsuke (Sostener), se centra en mantener la disciplina y asegurar que las mejoras obtenidas en las fases anteriores se mantengan a largo plazo. Esto se logra mediante la implementación de un sistema de auditorías regulares y una cultura de mejora continua.

4.2.5.1.1. Acciones a tomar

- Realizar auditorías periódicas para verificar el cumplimiento de las 5S en la planta

Se llevarán a cabo auditorías programadas para asegurar que todos los estándares de las 5S se mantengan de forma constante en la planta. Las auditorías servirán para identificar áreas de mejora y corregir cualquier desviación en los procesos.

- Fomentar una cultura de mejora continua, donde los empleados propongan nuevas ideas para optimizar los procesos

Se incentivará a los empleados a proponer ideas innovadoras para optimizar los procesos de trabajo y mejorar la implementación de las 5S, creando un entorno en el que todos sean partícipes del éxito del sistema.

- Establecer incentivos para los empleados que logren aplicar las 5S de manera efectiva

Se implementará un sistema de recompensas que motive a los empleados a mantener los estándares de las 5S en sus respectivas áreas de trabajo. Esto fomentará la participación activa y la responsabilidad.

4.2.5.2. Acción A: Plan de Auditorías

Para garantizar que la implementación de las 5S sea efectiva y sostenida, se establece un plan de auditorías con actividades específicas y responsables de la verificación del cumplimiento.

Tabla 28

Auditorías de las 5S: Actividades, Responsables y Frecuencias

Actividad	Responsable	Frecuencia	Observaciones
Auditoría de orden y limpieza	Supervisor	Mensual	Revisar el cumplimiento de los protocolos de limpieza en todas las áreas.
Auditoría de equipos y herramientas	Supervisor	Quincenal	Comprobar el estado y la organización de las herramientas y equipos.
Auditoría de la estandarización de procesos	Supervisor de Calidad	Mensual	Verificar que los procedimientos estandarizados se están siguiendo correctamente.
Auditoría de la participación del personal	Jefe de Recursos Humanos	Trimestral	Evaluar la participación activa del personal en las actividades relacionadas con las 5S.
Auditoría de sostenibilidad de las 5S	Gerente de Planta	Anual	Realizar una revisión global para evaluar la integración de las 5S a largo plazo.

Nota. Elaboración propia

Interpretación:

Esta tabla establece un sistema estructurado de auditorías internas que abarcan todos los aspectos clave de las 5S: orden, limpieza, estandarización, participación y sostenibilidad. La periodicidad variable (mensual, quincenal, anual) permite monitorear tanto aspectos operativos como culturales, asegurando la mejora continua. Es una herramienta clave para mantener el sistema vivo a lo largo del tiempo.

4.2.5.2.1. Acción B: Procedimiento para la Auditoría de las 5S

Para cada auditoría, se debe seguir un procedimiento estandarizado que asegure la correcta ejecución de las auditorías y la obtención de resultados precisos.

Procedimiento de Auditoría:

- **Preparación de la auditoría:** El responsable de la auditoría debe preparar una lista de verificación que incluya todos los puntos clave de las 5S. La lista debe estar basada en los protocolos establecidos en las fases anteriores.
- **Realización de la auditoría:** El supervisor o responsable asignado recorrerá todas las áreas relevantes de la planta, verificando el cumplimiento de las actividades de orden, limpieza, organización y estandarización.
- **Recolección de datos:** Se deben registrar todos los hallazgos, ya sean positivos o negativos, en una hoja de auditoría. En caso de encontrar desviaciones, se debe indicar la acción correctiva necesaria.
- **Informe de resultados:** Después de la auditoría, se debe generar un informe detallado con los resultados de la revisión, incluyendo observaciones, hallazgos y áreas de mejora.
- **Seguimiento y retroalimentación:**

Los resultados de la auditoría se deben comunicar a los responsables de cada área, y se deben definir acciones correctivas para abordar cualquier incumplimiento. El seguimiento se realizará para asegurar que las acciones correctivas se implementen.

4.2.5.2.2. Acción C: Cultura de Mejora Continua

Una vez que las 5S están implementadas, es esencial que el sistema evolucione y mejore con el tiempo. Para ello, se debe fomentar una **cultura de mejora continua**, que permita a los empleados proponer nuevas ideas y soluciones para optimizar los procesos.

Estrategias para Fomentar la Cultura de Mejora Continua:

- **Reuniones periódicas:** Organizar reuniones regulares con el personal para discutir oportunidades de mejora en los procesos y compartir buenas prácticas.
- **Sugerencias de los empleados:** Establecer un sistema de sugerencias donde los empleados puedan proponer ideas para mejorar el ambiente de trabajo, la organización y el rendimiento de las máquinas.
- **Reconocimiento y recompensa:** Crear un programa de incentivos que premie las ideas que lleven a mejoras significativas en la planta. Los empleados que propongan soluciones efectivas para optimizar los procesos de las 5S pueden recibir premios, reconocimiento público o bonificaciones.

- **Capacitación continua:** Continuar capacitando a los empleados sobre las mejores prácticas en la implementación de las 5S y sobre nuevas herramientas o tecnologías que puedan ser útiles para mejorar la eficiencia y el orden en la planta.

4.2.6. Desarrollo técnico de la propuesta 5S

a) Objetivo

Implementar la metodología 5S en el área de revestimiento en caliente con el objetivo de reducir tiempos improductivos, mejorar la organización del espacio de trabajo y disminuir el riesgo de accidentes relacionados con el desorden.

b) Indicadores clave de evaluación (KPIs)

Tabla 29

Indicadores clave de evaluación (KPIs)

Indicador	Fórmula	Línea base actual	Meta propuesta
Tiempo promedio de búsqueda de herramientas	Tiempo (min) por búsqueda	11 min	≤ 4 min
Índice de orden y limpieza (auditoría 5S)	% cumplimiento checklist	48 %	≥ 90 %
% de accidentes por desorden	Nº accidentes relacionados / total accidentes × 100	16 %	0 %
Tiempo improductivo por desorganización	Tiempo muerto (min) por turno	22 min	≤ 10 min

Nota. Elaboración propia

c) Cronograma de implementación por fase

Tabla 30

Cronograma de implementación por fase

Fase 5S	Actividades	Responsable	Recursos	Duración
Seiri (Clasificar)	Inventario y descarte de materiales innecesarios	Jefe de Producción	Hojas de descarte, etiquetas rojas	1 semana

Seiton (Ordenar)	Asignar lugares fijos con señalización visual	Supervisor TPM	Estantes, cintas de colores	2 semanas
Seiso (Limpiar)	Limpieza profunda + creación de rutina diaria	Todo el personal	Kits de limpieza, cronogramas	Permanente
Seiketsu (Estandarizar)	Establecer protocolos de orden y limpieza	Área de Calidad	Listas de verificación, capacitaciones	2 semanas
Shitsuke (Sostener)	Implementar sistema de auditorías e incentivos	RR.HH. y Producción	Tablero de resultados, premios	Mensual

Nota. Elaboración propia

d) Herramientas de control y seguimiento

- Checklist diario por estación de trabajo.
- Tablero visual de avance 5S con colores tipo semáforo.
- Calendario mensual de auditorías internas.
- Formatos de retroalimentación operativa (quincenal).

e) Resultados esperados en 3 meses

- Reducción del tiempo de búsqueda de herramientas en 60 %.
- Aumento del cumplimiento en auditorías 5S de 48 % a ≥ 90 %.
- Disminución de accidentes menores por desorden en un 100 %.
- Reducción del tiempo muerto por desorganización en 12 minutos promedio por turno.

4.3. Utilización del TPM (Mantenimiento Productivo Total)

4.3.1. Preparación para el TPM

Objetivo: Establecer las bases organizacionales y comunicativas para la implementación exitosa del TPM en la planta. Acciones:

4.3.1.1. Formación del Comité de TPM:

- **Integrantes:**

- Gerente de planta, supervisores de mantenimiento, personal de producción, operarios clave de cada equipo (autoclave, prensa, molino de caucho, granalladora, compresora de pintura).
- Los miembros deben ser seleccionados con base en su conocimiento sobre las máquinas y su capacidad de liderar y coordinar equipos.
 - **Responsabilidad:**
 - El Comité se encargará de la planificación, seguimiento, resolución de problemas y la asignación de recursos.
 - Este Comité debe reunirse regularmente (al menos una vez al mes) para revisar los avances y coordinar las actividades del TPM.

4.3.1.1.1. Comunicación de los Objetivos del TPM:

- **Acción:**
 - Organizar una reunión general con todo el personal para presentar la metodología TPM, explicar sus objetivos y beneficios (mejora de la disponibilidad, fiabilidad, calidad, reducción de costos).
 - Utilizar **materiales visuales** como carteles, infografías y presentaciones para mantener el enfoque en la importancia de cada fase del TPM.
 - Crear una **boleta interna o boletín** mensual para seguir informando sobre avances y resultados del TPM.
- **Documento Ejemplo (Boletín Interno):**
 - Formato Boletín TPM:

Figura 16

Formato Boletín TPM

Título: Boletín Mensual de Avances en TPM

Fecha: [Mes y Año]

Resumen de Actividades:

- Reuniones TPM realizadas
- Equipos auditados
- Resultados de eficiencia
- Metas alcanzadas
- Próximos pasos y objetivos

Nota. Elaboración propia.

4.3.1.1.2. Auditoría Inicial de Equipos:

- **Acción:**
 - Realizar una auditoría técnica de los equipos críticos para detectar condiciones actuales, fallos recurrentes y áreas de mejora. Esto debe incluir una inspección visual y la recopilación de datos históricos de fallos.
- **Formato de Auditoría Inicial:**

Figura 17

Formato Auditoría de Equipos

Título: Auditoría de Condición de Equipos
Fecha de Auditoría: [Fecha]
Auditor: [Nombre]
Área: [Autoclave/Prensa/Molino de Caucho/Granalladora/Compresora]
Estado Actual:

- Descripción de fallas recurrentes
- Componentes críticos (rodillos, filtros, etc.)
- Historial de paradas
- Recomendaciones

Nota. Elaboración propia.

4.3.2. Implementación de las 5S

Objetivo: Organizar el entorno de trabajo para optimizar el uso de recursos y mejorar la seguridad y eficiencia para el mantenimiento.

4.3.2.1. Acciones:

4.3.2.1.1. Seiri (Clasificar):

- **Acción:**
 - Identificar y clasificar todos los elementos (herramientas, repuestos, equipos) en las áreas de trabajo (como el autoclave, la prensa, el molino de caucho) y eliminarlos si no son necesarios.
 - Utilizar el principio de “lo que no se usa, se elimina” para crear un espacio de trabajo más eficiente.
- **Formato de Clasificación (Lista de Elementos):**

Figura 18
Formato Lista de Clasificación

Título: Clasificación de Herramientas y Repuestos			
Fecha: [Fecha]			
Responsable: [Nombre]			
Elemento/Descripción	Estado	Necesidad	Acción
Herramienta A	Obsoleta	No necesario	Eliminar
Filtro B	Bueno	Necesario	Guardar

Nota. Elaboración propia.

4.3.2.1.2. *Seiton (Ordenar):*

- **Acción:**
 - Definir lugares fijos para cada herramienta y material. Organizar áreas de trabajo de forma visual con etiquetas y tableros para facilitar el acceso a las herramientas.
 - Crear espacios de almacenamiento adecuados (por ejemplo, estanterías o carros de herramientas) cerca de cada equipo crítico como el molino de caucho.
- **Formato de Organización Visual**

Figura 19
Formato de Organización Visual

Título: Organización de Herramientas y Materiales		
Área: [Autoclave/Prensa]		
Herramienta/Material	Ubicación Fija	Responsable
Llave inglesa 24mm	Caja A1	Operario X
Filtro de caucho	Estante B2	Operario Y

Nota. Elaboración propia.

4.3.2.1.3. *Seiso (Limpiar):*

- **Acción:**
 - Establecer procedimientos diarios de limpieza para las máquinas. Esto incluirá la limpieza de áreas críticas como el autoclave (filtros, superficies calientes) y el molino de caucho.

- Asignar responsables para cada tarea de limpieza y utilizar una hoja de seguimiento de limpieza diaria.

- **Formato de Limpieza:**

Figura 20

Formato de Seguimiento de Limpieza

Título: Hoja de Seguimiento de Limpieza
Fecha: [Fecha]
Área: [Autoclave/Prensa/Molino]
Responsable: [Nombre del Operario]
Tareas de Limpieza Realizadas:
 - Inspección visual de componentes
 - Limpieza de rodillos y superficies
 - Revisión de filtros
Observaciones: [Descripción de cualquier hallazgo o acción tomada]

Nota. Elaboración propia.

4.3.2.1.4. *Seiketsu (Estandarizar):*

- **Acción:**

- Establecer procedimientos estandarizados para la organización y limpieza. Crear manuales de procedimientos para las 5S que incluyan rutinas diarias, semanales y mensuales.

- **Formato Manual de Procedimientos de 5S:**

- Formato Manual de Procedimiento:

Figura 21

Formato Manual de Procedimiento

Título: Manual de Procedimientos de 5S
Fecha: [Fecha]
Área: [Autoclave/Prensa]
Procedimientos:
 - **Rutinas diarias:** [Limpiar, verificar, ordenar herramientas]
 - **Rutinas semanales:** [Inspección detallada, revisión de inventarios]
 - **Rutinas mensuales:** [Auditoría de 5S]

Nota. Elaboración propia.

4.3.2.1.5. *Shitsuke (Disciplina):*

- **Acción:**

- Realizar auditorías periódicas para asegurarse de que las 5S se mantengan. Los operarios deben seguir los procedimientos establecidos para asegurar la adherencia.
- Implementar un sistema de incentivos para los equipos que mantengan altos estándares de orden y limpieza.

4.3.3. Mantenimiento Autónomo (Jishu Hozen)

Objetivo: Involucrar a los operarios en la gestión del mantenimiento para prevenir problemas y mejorar la fiabilidad de los equipos.

4.3.3.1. Acciones:

4.3.3.1.1. Capacitación de los Operarios:

- **Acción:**

- Realizar entrenamientos prácticos para los operarios sobre mantenimiento preventivo y autónomo, enfocados en los componentes clave de cada equipo (como el autoclave y la prensa).
- Incluir temas como la lubricación correcta, la inspección de piezas críticas y la identificación de fallos tempranos.

- **Formato de Registro de Capacitación:**

- Formato de Registro de Capacitación:

Figura 22

Formato de Registro de Capacitación

Título: Registro de Capacitación en Mantenimiento Autónomo

Fecha: [Fecha]

Participantes: [Nombres]

Temas Cubiertos:

- Inspección de componentes
- Lubricación y ajustes
- Identificación de fallos

Evaluación:

- **Nivel de comprensión:** [Alto/Medio/Bajo]

- **Acción de mejora:** [Describir]

Nota. Elaboración propia.

4.3.3.1.2. Creación de Checklists de Mantenimiento:

- **Acción:**

- Desarrollar una lista de verificación para los operarios, que incluya tareas diarias y periódicas de mantenimiento autónomo.

- **Formato Checklist de Mantenimiento Autónomo:**

- Formato Checklist:

Figura 23

Formato Checklist

Título: Checklist de Mantenimiento Autónomo

Fecha: [Fecha]

Responsable: [Operario]

Equipo: [Autoclave/Prensa/Molino]

Tareas a Realizar:

- Lubricación de piezas móviles: [Sí/No]
- Inspección de componentes críticos: [Sí/No]
- Verificación de fugas de aceite: [Sí/No]
- Reemplazo de filtros: [Sí/No]

Observaciones:

Nota. Elaboración propia.

4.3.3.1.3. *Monitoreo de la Eficiencia:*

- **Acción:**

- Monitorear la eficacia de las tareas de mantenimiento autónomo, realizando seguimientos periódicos y revisando los informes de operación.

4.3.4. Mantenimiento Planificado

Objetivo: Asegurar que se realice un mantenimiento preventivo y planificado para reducir fallos imprevistos.

4.3.4.1. *Acciones:*

4.3.4.1.1. *Desarrollo de un Plan de Mantenimiento Preventivo:*

- **Acción:**

- Crear un plan de mantenimiento preventivo detallado para cada equipo crítico, basado en las recomendaciones de los fabricantes y las condiciones operativas de la planta.

- **Formato Plan de Mantenimiento Preventivo:**

- Formato Plan de Mantenimiento:

Figura 24

Formato Plan de Mantenimiento

Título: Plan de Mantenimiento Preventivo
Equipo: [Autoclave/Prensa/Molino]
Tareas Programadas:
 - Inspección de rodillos: Cada [X] horas
 - Reemplazo de piezas críticas: Cada [X] meses
 - Calibración de sensores: Cada [X] días
Responsable: [Técnico encargado]

Nota. Elaboración propia.

4.3.4.1.2. Desarrollo de un Calendario de Mantenimiento:

- **Acción:**
 - Crear un calendario para planificar las tareas de mantenimiento de manera que se minimice la interrupción de la producción.
- **Formato Calendario de Mantenimiento:**
 - Formato Calendario:

Figura 25

Formato Calendario

Título: Calendario de Mantenimiento
Mes: [Mes]
Tareas Programadas:
 - **Autoclave:** [Fecha]
 - **Prensa:** [Fecha]

Nota. Elaboración propia.

4.3.4.1.3. Asignación de responsables:

- **Acción:**
 - Asignar un responsable de mantenimiento para cada equipo, asegurando que cada tarea sea ejecutada en el tiempo adecuado.

4.3.5. Mantenimiento de Calidad

Objetivo: Asegurar que las actividades de mantenimiento no solo mantengan los equipos operativos, sino también que ayuden a mejorar la calidad del producto.

4.3.5.1. *Acciones:*

4.3.5.1.1. *Integración del Mantenimiento con Control de Calidad:*

• **Acción:**

- Establecer procedimientos de calidad en el mantenimiento, verificando que las máquinas no solo estén funcionando correctamente, sino que también produzcan productos dentro de las especificaciones.
- Durante cada actividad de mantenimiento, como la revisión de los rodillos en el autoclave o la prensa, verificar que la calidad del producto (caucho) esté siendo mantenida.
- Implementar un checklist de control de calidad para el mantenimiento que debe ser completado antes de que las máquinas regresen a producción.

4.3.5.1.2. *Desarrollo de Procedimientos de Mantenimiento de Calidad:*

• **Acción:**

- Crear protocolos para calibración y ajustes que se deben realizar durante el mantenimiento para asegurar que las máquinas estén en las mejores condiciones operativas para producir productos de calidad.

• **Formato de Control de Calidad:**

- Formato de Verificación de Calidad (Antes y Después de Mantenimiento):

Figura 26

Formato de Verificación de Calidad

Título: Verificación de Calidad Post-Mantenimiento
Fecha: [Fecha]
Equipo: [Autoclave/Prensa/Molino]
Operario: [Nombre]
Tareas Realizadas:
 - Reemplazo de componentes
 - Ajustes de calibración
Verificación de Calidad:
 - ¿Se cumplió con las especificaciones de producto? [Sí/No]
 - Observaciones de calidad del producto después del mantenimiento:
[Descripción]

Nota. Elaboración propia.

4.3.5.1.3. *Monitoreo Continuo de la Calidad del Producto:*

- **Acción:**

- Incluir la medición de calidad en los KPIs de mantenimiento, donde se registre la cantidad de productos defectuosos debido a fallos en los equipos.

4.3.6. Mejora Continua (Kaizen)

Objetivo: Implementar un ciclo constante de análisis y mejora para eliminar pérdidas y mejorar el rendimiento de los equipos.

4.3.6.1. *Acciones:*

4.3.6.1.1. *Creación de Equipos de Mejora Kaizen:*

- **Acción:**

- Formar pequeños equipos multidisciplinarios que se reúnan periódicamente para identificar pérdidas en la planta y desarrollar soluciones prácticas.
- Utilizar los 5 Porqués y Mapas de Flujo de Valor para investigar las causas raíz de los problemas y mejorar el proceso.

4.3.6.1.2. *Implementación de Proyectos de Mejora:*

- **Acción:**

- Fomentar proyectos de mejora en el mantenimiento de equipos. Ejemplo: Mejorar el ciclo de limpieza en el molino de caucho para reducir el tiempo de inactividad.

- **Formato de Proyecto Kaizen:**

- Formato de Proyecto Kaizen:

Figura 27

Formato de Proyecto Kaizen

Título: Proyecto de Mejora Kaizen
Área: [Autoclave/Prensa]
Descripción del Proyecto: [Breve descripción del objetivo]
Problema Identificado: [Descripción]
Soluciones Propuestas:
 [Lista de soluciones]
Responsable: [Nombre]
Fecha de Implementación: [Fecha]

Nota. Elaboración propia.

4.3.6.1.3. *Análisis de Resultados y Ajustes Continuos:*

- **Acción:**

- Revisar los resultados después de implementar las mejoras, analizar su impacto en la eficiencia y hacer ajustes cuando sea necesario.
- Programar reuniones para revisar el progreso y decidir las siguientes acciones.

4.3.7. **Entrenamiento y Desarrollo de Competencias**

Objetivo: Asegurar que todo el personal, desde los operarios hasta los técnicos, estén adecuadamente capacitados para llevar a cabo las tareas de mantenimiento, operación y gestión del TPM.

4.3.7.1. *Acciones:*

4.3.7.1.1. *Desarrollo de Programas de Capacitación:*

- **Acción:**

- Crear un programa de formación continua que cubra todos los aspectos del TPM: mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado, mejora continua, etc.
- Incluir formación práctica y teórica sobre cada equipo (como el autoclave y la prensa) y los sistemas de control de calidad.

4.3.7.1.2. *Capacitación Técnica para el Mantenimiento de Equipos Específicos:*

- **Acción:**

- Capacitar al personal de mantenimiento para realizar tareas más complejas como la reparación de piezas de la granalladora o la compresora de pintura.

- **Formato de Registro de Capacitación:**

- Formato de Registro de Capacitación Técnica:

Figura 28

Formato de Registro de Capacitación Técnica

Título: Registro de Capacitación Técnica

Fecha: [Fecha]

Participantes: [Nombres]

Tema: [Descripción del tema]

Evaluación:

- Nivel de conocimiento antes de la capacitación: [Bajo/Medio/Alto]

- Evaluación después de la capacitación: [Bajo/Medio/Alto]

Nota. Elaboración propia.

4.3.7.1.3. Evaluación de Desempeño:

- **Acción:**

- Realizar evaluaciones periódicas para medir la efectividad de la capacitación e identificar áreas de mejora.

4.3.8. Gestión Temprana de Equipos

Objetivo: Involucrar a los operarios y el personal de mantenimiento en el proceso de selección, diseño y adquisición de nuevos equipos para que sean fáciles de mantener y operar.

4.3.8.1. Acciones:

4.3.8.1.1. Selección de Equipos con Facilidad de Mantenimiento:

- **Acción:**

- Asegurarse de que todos los nuevos equipos (como el autoclave o la compresora de pintura) sean diseñados de tal manera que facilite el acceso a las partes para su mantenimiento, tengan indicadores visuales claros y cuenten con manuales accesibles para los operarios.

4.3.8.1.2. Participación de Operarios en el Diseño:

- **Acción:**

- Consultar a los operarios en el diseño y compra de equipos, pidiéndoles que identifiquen características que mejorarían la facilidad de mantenimiento.

4.3.8.1.3. Planificación de Mantenimiento para Equipos Nuevos:

- **Acción:**

- Incluir la planificación de mantenimiento desde el momento de la adquisición del equipo, asegurando que el personal reciba la capacitación adecuada y los procedimientos de mantenimiento estén establecidos desde el inicio.

4.3.9. Seguridad, Salud y Medio Ambiente (SHE)

Objetivo: Asegurar que las actividades de TPM estén alineadas con las políticas de seguridad, salud y medio ambiente de la empresa, garantizando un ambiente laboral seguro y saludable.

4.3.9.1. *Acciones:*

4.3.9.1.1. *Revisión de Procedimientos de Seguridad:*

- **Acción:**

- Establecer procedimientos de seguridad que deben seguirse durante el mantenimiento de los equipos, como el autoclave, la granalladora y la prensa, garantizando que se utilicen los equipos de protección adecuados.

4.3.9.1.2. *Monitoreo de Condiciones de Trabajo:*

- **Acción:**

- Implementar un sistema de monitoreo para evaluar las condiciones laborales, como la calidad del aire cerca de la compresora de pintura o la exposición al ruido cerca de la granalladora.

4.3.9.1.3. *Revisión de Impacto Ambiental:*

- **Acción:**

- Asegurar que las actividades de mantenimiento y la operación de los equipos no impacten negativamente el medio ambiente, implementando medidas correctivas cuando sea necesario.

4.3.9.1.4. *Formato de Evaluación de Seguridad:*

- **Formato de Evaluación de Seguridad:**

Figura 29

Formato de Evaluación de Seguridad

Título: Evaluación de Condiciones de Seguridad

Fecha: [Fecha]

Equipo Evaluado: [Autoclave/Prensa]

Evaluación de Seguridad:

- Uso de EPP (Equipo de Protección Personal): [Sí/No]

- Cumplimiento de procedimientos de seguridad: [Sí/No]

- Observaciones:

[Descripción de hallazgos]

Nota. Elaboración propia

4.3.10. Gestión del Mantenimiento en la Cadena de Suministro

Objetivo: Garantizar que los proveedores y la cadena de suministro estén alineados con las prácticas de TPM para asegurar la calidad y disponibilidad de los repuestos y equipos.

4.3.10.1. *Acciones:*

4.3.10.1.1. *Colaboración con Proveedores:*

- **Acción:**

- Trabajar con proveedores para asegurar que las piezas de repuesto y los equipos adquiridos cumplan con los estándares de calidad requeridos para facilitar el mantenimiento preventivo y correctivo.

4.3.10.1.2. *Establecer Requisitos de Mantenimiento con Proveedores:*

- **Acción:**

- Definir requisitos claros de mantenimiento en los contratos con proveedores, indicando la frecuencia de los reemplazos de piezas críticas y la garantía de la calidad de los productos suministrados.

4.3.10.1.3. *Monitoreo de Suministros Críticos:*

- **Acción:**

- Implementar un sistema de gestión para el monitoreo y control de inventarios de piezas de repuesto, asegurando que siempre haya disponibilidad para el mantenimiento programado.

4.3.11. Desarrollo técnico de la propuesta TPM

a) **Objetivo**

Optimizar la disponibilidad operativa y confiabilidad de los equipos críticos involucrados en el proceso de revestimiento en caliente (autoclave, prensa hidráulica, molino de caucho), mediante la aplicación estructurada del Mantenimiento Productivo Total (TPM), reduciendo paradas no programadas que afectan directamente los tiempos de entrega.

b) **Diagnóstico de criticidad de equipos**

Se realizó una matriz de criticidad considerando la frecuencia de fallas y el impacto sobre el proceso productivo. Como resultado, los equipos críticos son:

Tabla 31
Criticidad de Equipos

Equipo	Frecuencia de fallas	Impacto en el proceso	Nivel de criticidad
Autoclave	Alta	Muy alto	Crítico

Prensa hidráulica	Media	Muy alto	Crítico
Molino de caucho	Media	Medio	Alto
Granalladora	Baja	Medio	Medio
Compresora de pintura	Baja	Bajo	Bajo

Nota. Elaboración propia

La matriz de criticidad evidencia que los equipos con mayor impacto en la productividad son la autoclave y la prensa hidráulica, catalogados como críticos al presentar alta frecuencia de fallas y repercusión directa en los tiempos de entrega. El molino de caucho se clasifica como alto, confirmando que los problemas de disponibilidad se concentran en los equipos principales del proceso de revestimiento. Este diagnóstico justifica la implementación prioritaria de TPM en dichos equipos para reducir paradas no planificadas.

c) Indicadores de mantenimiento (KPIs)

Con el fin de evaluar el estado actual de la gestión de mantenimiento en la empresa, se establecieron los indicadores clave de desempeño (KPIs) más utilizados en la literatura y en la práctica industrial: MTTR, MTBF, Disponibilidad operativa y Cumplimiento del mantenimiento programado. Estos indicadores permiten diagnosticar la confiabilidad de los equipos, la eficiencia de las reparaciones y el grado de cumplimiento de las actividades preventivas, constituyendo la línea base para el diseño de la propuesta de TPM.

Tabla 32

Indicadores de mantenimiento (KPIs)

Indicador	Fórmula	Línea base	Meta propuesta
MTTR (Tiempo medio de reparación)	Tiempo total de reparación / N° de fallas	6 horas	≤ 3 horas
MTBF (Tiempo medio entre fallas)	Tiempo de operación / N° de fallas	18 horas	≥ 40 horas
Disponibilidad operativa (%)	$(\text{Tiempo operativo} / (\text{Tiempo operativo} + \text{Tiempo de parada})) \times 100$	78 %	≥ 90 %

Nota. Elaboración propia

Los valores de línea base mostrados en la Tabla 29 se calcularon a partir del registro de fallas y reparaciones observadas durante el periodo de análisis (ver Anexo 6). Estos indicadores

permiten evaluar la eficiencia del mantenimiento y constituyen la referencia sobre la cual se plantean las metas de mejora de la propuesta TPM.

Las metas propuestas en la Tabla 29 fueron definidas en función de las recomendaciones de la literatura especializada en TPM (Nakajima, 1988; JIPM, 2015) y de benchmarks industriales, los cuales establecen valores de referencia para los indicadores de mantenimiento. Así, se consideró factible reducir el MTTR a la mitad del valor actual (≤ 3 h), duplicar el MTBF (≥ 40 h) mediante la aplicación de mantenimiento autónomo y preventivo, y elevar la disponibilidad operativa a niveles de clase mundial (≥ 90 %).

d) Plan maestro de mantenimiento anual

Tabla 33

Plan maestro de mantenimiento anual

Equipo	Actividad de mantenimiento	Frecuencia	Responsable	Recurso necesario
Prensa hidráulica	Lubricación general de guías y mordazas	Diario	Operario / Técnico	Grasa industrial
	Limpieza y retiro de residuos	Diario	Operario	Paños, solvente
	Verificación de presión hidráulica	Semanal	Técnico mecánico	Manómetro, aceite hidráulico
Autoclave	Revisión de alineación y fijación	Mensual	Técnico de mantenimiento	Llaves de torque
	Verificación de sensores eléctricos	Semanal	Técnico eléctrico	Multímetro, calibrador
	Limpieza de cámara interna	Mensual	Operario / Técnico	Cepillos, paños, solvente
	Revisión de válvulas de seguridad	Trimestral	Técnico de planta	Kit de válvulas, guías ISO
Granalladora	Calibración de manómetros	Semestral	Técnico especializado	Kit de calibración
	Cambio de filtros	Mensual	Área de Mantenimiento	Filtros ISO estándar
	Revisión de nivel de granalla	Semanal	Operario	Granalla metálica
	Limpieza de tolva y cámaras	Diario	Operario	Escoba, aire comprimido
	Inspección de correas y poleas	Trimestral	Técnico de mantenimiento	Manual técnico

Compresora de pintura	Revisión de presión y fugas	Semanal	Técnico de planta	Kit manómetro
	Limpieza de filtros de aire	Semanal	Operario	Filtros de aire, sopladora
	Cambio de aceite del compresor	Trimestral	Técnico mecánico	Aceite lubricante ISO
Molino de caucho	Revisión de conexiones y válvulas	Semestral	Área de mantenimiento	Llaves, selladores
	Inspección de rodillos	Trimestral	Técnico de mantenimiento	Guía técnica visual
	Limpieza y engrase de rodillos	Mensual	Operario / Técnico	Grasa industrial
	Ajuste de bandas y protecciones	Semestral	Técnico mecánico	Llaves, calibrador
	Verificación de seguridad en arranque	Diario	Operario	Checklist visual

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 30 se presenta el plan maestro de mantenimiento anual, el cual detalla varias actividades para cada equipo crítico, organizadas por frecuencia (diaria, semanal, mensual, trimestral y semestral). Estas actividades combinan acciones de mantenimiento autónomo (limpieza, inspección y lubricación realizadas por operarios) con tareas de mantenimiento planificado (ajustes, calibraciones y cambios de piezas realizados por técnicos especializados). Este esquema permite maximizar la confiabilidad de los equipos, reducir fallas imprevistas y fomentar la cultura TPM en la organización.

e) Mantenimiento autónomo (por operarios)

El mantenimiento autónomo es uno de los pilares principales del TPM y busca que los operarios asuman un rol activo en la conservación de los equipos mediante la ejecución de inspecciones, limpiezas y actividades básicas de lubricación. Con ello se fomenta la detección temprana de anomalías, se reducen fallas inesperadas y se fortalece la cultura de responsabilidad compartida entre producción y mantenimiento.

Para su implementación, se plantea el siguiente esquema progresivo:

1. Capacitación inicial de operarios

- Entrenamiento en técnicas de inspección visual y verificación de condiciones básicas de operación.
 - Incluye identificación de fugas, ruidos anormales, vibraciones y desgaste de componentes.
2. Inspección visual diaria con checklist
- Cada operario completa un formato estandarizado al inicio de su turno, verificando puntos críticos como presión, temperatura, fugas y condiciones de limpieza.
 - Esto permite mantener un control constante y detectar desviaciones en etapas tempranas.
3. Limpieza y lubricación rutinaria
- Actividades de limpieza superficial y engrase básico de puntos accesibles, realizadas con frecuencias diarias y semanales.
 - Ejemplo: engrase de rodillos del molino de caucho y limpieza de tolvas de la granalladora.
4. Lecciones tipo One Point (OPL)
- Guías visuales colocadas en cada equipo, con pasos simples de verificación (ejemplo: “Cómo revisar el nivel de aceite de la compresora en 3 pasos”).
 - Estas lecciones sirven como recordatorio práctico y ayudan en la capacitación continua del personal.
5. Reporte de anomalías
- Los operarios registran y notifican cualquier condición anormal detectada.
 - Este reporte es revisado semanalmente en conjunto con el área de mantenimiento, integrándose al sistema de mejora continua.

Indicadores de seguimiento del mantenimiento autónomo

- % de checklists completados diariamente por equipo.
- Nº de fallas menores detectadas por operarios antes de convertirse en paradas mayores.
- Cumplimiento de actividades rutinarias de limpieza y lubricación.

Con este esquema, el mantenimiento autónomo deja de ser una acción aislada y se convierte en un proceso estructurado que involucra al personal operativo en el cuidado de los equipos. La aplicación de estas prácticas contribuye a mejorar la disponibilidad de las

máquinas críticas, reducir el número de paradas no planificadas y sostener los resultados de la propuesta TPM a largo plazo.

f) Integración TPM + Calidad

Se incluyen verificaciones post-mantenimiento:

- Registro de temperatura y presión de autoclave antes de carga.
- Verificación del paralelismo y presión de la prensa hidráulica.
- Control de adherencia del caucho tras mantenimiento del molino.

g) Seguimiento y mejora continua

- Registro de fallas, paradas y mantenimientos en Excel automatizado.
- Revisión mensual de indicadores con el comité TPM (supervisor + operarios).
- Retroalimentación de los operarios en reuniones bimensuales.

h) Resultados esperados en 4 meses

- Aumento de disponibilidad de autoclave de 78 % a 92 %.
- Reducción de paradas no planificadas de 5 a 2 por mes.
- Cumplimiento de cronogramas de mantenimiento ≥ 95 %.
- Mejora en puntualidad de entregas por menor interferencia de fallas técnicas.

4.4. PokaYoke

El proceso de revestimiento en caliente de piezas metalmecánicas es una etapa fundamental en la fabricación de componentes que requieren una alta resistencia y durabilidad, donde el éxito del proceso depende de la correcta aplicación de los recubrimientos, la adhesión efectiva de los materiales y el cumplimiento de parámetros técnicos precisos.

En un entorno industrial, la consistencia y confiabilidad en cada fase de producción son vitales para garantizar la calidad del producto final. En este sentido, la implementación de la técnica Poka Yoke se presenta como una solución adecuada para prevenir errores y defectos, asegurando la eficiencia de cada operación.

A continuación, se presentará cómo se aplicará el Poka Yoke en cada una de las fases críticas del proceso de revestimiento en caliente de piezas metalmecánicas.

4.4.1. Fases del Proceso de Revestimiento en Caliente

4.4.1.1. Fase 1: Recepción de Orden de Trabajo / Fabricación, Planos y otros

En esta fase, el Poka Yoke se centra en la validación inmediata de la Orden de Trabajo (OT) y los documentos asociados (planos, instrucciones de fabricación, especificaciones, etc.). Utilizando un sistema de códigos QR para garantizar que toda la información relevante esté presente y correctamente asociada a cada pieza o tarea de revestimiento.

Objetivo: Evitar errores humanos al ingresar información incorrecta, omitir documentos importantes o no contar con los documentos necesarios para el proceso.

4.4.1.1.1. Asignación de Código QR a la Orden de Trabajo (OT):

- Cada OT es generada con un código QR único que contiene la información completa sobre el trabajo: número de OT, especificaciones, materiales, detalles de la pieza, instrucciones, y cualquier documento adicional relevante (como planos o instrucciones técnicas).
- El código QR es generado automáticamente en el sistema de gestión de órdenes o en el software ERP (Enterprise Resource Planning).

4.4.1.1.2. Escaneo del Código QR:

- El Líder de Revestimiento y Prensa recibe la OT impresa o en formato digital.
- Al iniciar la etapa de fabricación, se escanea el código QR con un lector de códigos QR (puede ser un dispositivo móvil o escáner de mano), lo que automáticamente carga toda la información asociada a esa OT en el sistema.

4.4.1.1.3. Validación de la Información Escaneada:

El sistema verifica que todos los documentos asociados estén presentes:

- Si la OT no tiene un código QR válido, el sistema no permitirá continuar el proceso.
- El código QR valida que todos los documentos asociados (planos, esquemas, especificaciones) estén correctamente referenciados y sean correctos.
- El sistema confirma que la pieza y los materiales de revestimiento estén correctamente identificados.

- Checklist de Requisitos de la OT: Al escanear el código QR, el sistema genera automáticamente un checklist en pantalla para asegurar que se cumpla con todos los requisitos necesarios para comenzar el trabajo. Este checklist será completado digitalmente, y cualquier error o falta de información será inmediatamente señalado.

Tabla 34

Checklist de Validación (Recepción de OT)

Ítem	Descripción	Verificación
Código QR válido	Verifica que el código QR de la OT esté presente y sea legible.	Escaneo del código QR. Si es ilegible o inexistente, el sistema muestra un error.
Número de Orden de Trabajo (OT)	Comprobar que el número de la OT coincida con la orden de trabajo registrada en el sistema.	Validación automática con el sistema ERP.
Documentación Completa	Asegurarse de que todos los documentos relacionados con la OT estén presentes (planos, instrucciones, especificaciones técnicas).	Verificación digital de los archivos adjuntos al código QR.
Datos de la Pieza Correctos	Verificar que los datos de la pieza (tipo, número, especificaciones) sean correctos y coincidan con la OT.	Validación en el sistema ERP mediante escaneo del código QR.
Datos del Revestimiento	Comprobar que las especificaciones de los materiales y el tipo de revestimiento estén correctamente indicados.	Comparación con los parámetros de la OT. Si hay una discrepancia, el sistema genera una alerta.
Fecha de Inicio y Tiempos	Validar que las fechas de inicio y tiempos estimados de ejecución sean correctos y se ajusten a la programación de la producción.	Revisión automatizada del sistema con la información proporcionada en la OT.
Revisión de Accesorios y Herramientas	Verificar que las herramientas y equipos necesarios para ejecutar la tarea estén disponibles y listos para su uso.	Validación en el sistema de inventarios. Si falta algún material o herramienta, se emite una alerta.

Nota. Elaboración propia.

Interpretación:

Esta tabla permite validar la exactitud y completitud de la Orden de Trabajo antes de iniciar la producción. Mediante el escaneo de un código QR, el sistema verifica automáticamente documentos técnicos, materiales, tiempos, y herramientas. Esto evita errores humanos al comienzo del proceso, garantizando que solo se trabaje con información verificada. Es un claro ejemplo de aplicación del Poka Yoke para prevenir fallas antes de que ocurran.

- **Acción:**
 - **Sistema de Alerta en Caso de Errores:** Si alguna de las verificaciones falla (por ejemplo, si el código QR no es válido, o si falta documentación), el sistema no

permitirá continuar con el trabajo hasta que se corrijan los errores. Esto previene el inicio de trabajos sin la información correcta o sin los documentos necesarios.

- **Confirmación Digital de Recepción:** Después de pasar el checklist y validar todos los elementos, el sistema generará una confirmación digital en la pantalla que podrá ser firmada electrónicamente por el Líder de Revestimiento y Prensa para indicar que la orden de trabajo ha sido revisada y está lista para iniciar el proceso.

4.4.1.2. Fase 2: Tratamiento y Limpieza Superficial de la Pieza

En la Fase 2 del proceso de revestimiento, se realiza el tratamiento y limpieza superficial de las piezas metálicas antes de la aplicación del revestimiento de caucho. Dependiendo de las características de la pieza y los requerimientos especificados en la orden de trabajo, se lleva a cabo un tratamiento de granallado, arenado o limpieza mecánica. Cada uno de estos procesos asegura que la superficie de la pieza sea adecuada para una adherencia óptima del caucho.

4.4.1.2.1. 1. Recepción de la Orden de Trabajo

El primer paso de esta fase es la recepción de la orden de trabajo que especifica el tipo de tratamiento que debe recibir la pieza. La orden de trabajo debe contener toda la información relevante, como el tipo de pieza, los materiales, y los detalles específicos sobre el tipo de revestimiento y el tratamiento superficial necesario.

4.4.1.2.2. 2. Asignación de Código de Barras

Para asegurar la trazabilidad y evitar confusión con otras piezas, se asigna un código de barras único a cada pieza. Este código debe incluir información clave como el ID de la pieza, el tipo de tratamiento, y la fecha de inicio del proceso. Cada vez que la pieza pase por una fase del proceso, el código debe ser escaneado para actualizar su estado en el sistema y mantener el control de las piezas en todo momento.

Tabla 35

Checklist de Asignación de Código de Barras

Acción	¿Cumple con los requisitos? (Sí/No)
¿Se generó el código de barras con la información correcta de la pieza?	
¿El código de barras incluye el ID de la pieza y el tipo de tratamiento?	
¿El código de barras es escaneado correctamente al inicio del proceso?	

Nota. Elaboración propia.

Interpretación:

El código de barras único asignado a cada pieza permite trazarla durante todo el proceso. Este checklist asegura que la información registrada sea correcta y escaneable. Esta medida reduce al mínimo los errores de identificación de piezas, mejora el control del flujo de trabajo y fortalece la trazabilidad del proceso de producción.

4.4.1.2.3. Realización del Tratamiento Superficial

Dependiendo de lo especificado en la orden de trabajo, la pieza debe pasar por uno de los siguientes tratamientos:

- **Granallado:** Este proceso aumenta la rugosidad de la superficie, lo que facilita la adherencia del revestimiento. La rugosidad mínima debe ser de 2.5 mils.
- **Arenado:** Similar al granallado, pero con un acabado más fino. La rugosidad mínima es de 2.0 mils.
- **Limpieza Mecánica:** Cuando la pieza tiene alguna corrosión o residuos, se limpia manualmente usando herramientas como amoladoras o cepillos metálicos. La rugosidad mínima en este caso debe ser de 1.5 mils.

Durante este tratamiento, se realiza una inspección visual para asegurar que la pieza cumpla con los estándares establecidos.

Tabla 36
Checklist de Tratamiento Superficial

Acción	¿Cumple con los requisitos? (Sí/No)
¿Se ha realizado el granallado, arenado o limpieza mecánica según lo indicado en la orden de trabajo?	
¿Se ha alcanzado la rugosidad mínima requerida?	
¿La pieza fue inspeccionada visualmente para verificar la calidad del tratamiento?	

Nota. Elaboración propia.

Interpretación:

Esta tabla garantiza que el tratamiento superficial (granallado, arenado o limpieza mecánica) se realice de acuerdo con las especificaciones de la orden de trabajo. Además, se verifica que se cumplan los estándares de rugosidad, esenciales para la adherencia del revestimiento de caucho.

El uso de esta verificación estandarizada refuerza el control de calidad desde etapas iniciales del proceso.

4.4.1.2.4. Inspección de Rugosidad

Después de completar el tratamiento, se debe verificar la rugosidad de la superficie utilizando un medidor de rugosidad. Esto es crucial para asegurar que la pieza tendrá la adherencia adecuada para el revestimiento de caucho. Se debe registrar la medida obtenida en el formato adecuado.

Tabla 37
Checklist de Inspección de Rugosidad

Acción	¿Cumple con los requisitos? (Sí/No)
¿Se realizó la medición de rugosidad con el equipo adecuado?	
¿La rugosidad de la pieza cumple con los valores mínimos establecidos?	
¿Se registraron los resultados de la medición correctamente?	

Nota. Elaboración propia

4.4.1.2.5. Limpieza Final de la Pieza

Una vez que se ha tratado la superficie de la pieza, se realiza una limpieza final para eliminar cualquier residuo o impureza que pueda interferir con el proceso de adhesión del caucho. En este paso, se utilizan solventes para asegurar que la superficie esté completamente limpia.

Tabla 38
Checklist de Limpieza Final

Acción	¿Cumple con los requisitos? (Sí/No)
¿Se utilizó el solvente adecuado para limpiar la pieza?	
¿La superficie está libre de impurezas?	
¿La pieza está lista para el siguiente paso del proceso?	

Nota. Elaboración propia.

4.4.1.2.6. Registro Final

Una vez finalizada la fase de tratamiento y limpieza, se debe **escuchar y registrar** el código de barras de la pieza nuevamente para asegurar que el proceso haya sido completado correctamente. Este paso se realiza antes de que la pieza sea enviada a la siguiente fase del revestimiento.

Tabla 39
Checklist de Registro Final

Acción	¿Cumple con los requisitos? (Sí/No)
¿Se escaneó correctamente el código de barras al finalizar la fase? ¿El sistema registró el estado de la pieza correctamente para el siguiente paso? ¿Se completó toda la información en el sistema de gestión de la pieza?	

Nota. Elaboración propia.

4.4.1.3. Fase 3: Inspección de la Rugosidad de la Pieza

Una vez que la pieza ha sido tratada superficialmente, se procede con la medición de la rugosidad utilizando un medidor específico. El objetivo de esta fase es asegurar que la rugosidad sea la adecuada para garantizar una buena adherencia del caucho en la siguiente fase del proceso de revestimiento.

4.4.1.3.1. Proceso:

- **Escaneo del Código QR:** Escanear el código QR para identificar la pieza y acceder a los registros de la fase anterior.
- **Medición de Rugosidad:** Usar el medidor de rugosidad y registrar los datos en el sistema.
- **Verificación de Rugosidad:** La rugosidad debe estar dentro de los valores definidos (granallado: ≥ 2.5 mils, arenado: ≥ 2.0 mils, limpieza mecánica: ≥ 1.5 mils).
- **Registro de Resultados:** Registrar los resultados obtenidos en el sistema y asegurarse de que el estado de la pieza se actualice.

Tabla 40
Checklist de Inspección de Rugosidad

Acción	¿Cumple con los requisitos? (Sí/No)
¿Se escaneó correctamente el código QR al inicio de la fase? ¿Se utilizó el medidor de rugosidad adecuado? ¿Se alcanzaron los valores de rugosidad establecidos para cada tipo de tratamiento? ¿Se registraron los resultados de manera correcta?	

Nota. Elaboración propia

4.4.1.4. Fase 4: Aplicación de Imprimante, Adhesivo y Cemento en la Pieza

En esta fase, se aplican productos como imprimante, adhesivo y cemento en la superficie tratada de la pieza para mejorar la adherencia del revestimiento de caucho.

4.4.1.4.1. *Proceso:*

- **Escaneo del Código QR:** Se escanea el código QR para verificar el estado y continuar el proceso.
- **Aplicación de Imprimante y Adhesivo:** El imprimante Chemlok 205 y el adhesivo Chemlok 220 se aplican en la pieza siguiendo las instrucciones.
- **Secado de los Productos:** Se debe asegurar que el tiempo de secado entre cada aplicación sea de 30-45 minutos.
- **Registro del Proceso:** Registrar en el sistema el tiempo de secado y las condiciones ambientales durante la aplicación.

Tabla 41

Checklist de Aplicación de Imprimante y Adhesivo

Acción	¿Cumple con los requisitos? (Sí/No)
¿Se escaneó correctamente el código QR al inicio de la fase? ¿Se aplicó el imprimante y adhesivo de acuerdo con las especificaciones? ¿El tiempo de secado entre cada capa fue respetado? ¿Se registraron las condiciones ambientales (temperatura, humedad)?	
<i>Nota.</i> Elaboración propia	

4.4.1.5. *Fase 5: Control de Condiciones Ambientales*

Controlar las condiciones ambientales es crucial durante el proceso de revestimiento, ya que temperatura y humedad pueden afectar la calidad del revestimiento aplicado.

4.4.1.5.1. *Proceso:*

- **Escaneo del Código QR:** Escanear el código QR para actualizar el registro de la pieza.
- **Medición de Condiciones Ambientales:** Registrar la temperatura y humedad en cada etapa del proceso, de acuerdo con los límites establecidos.
- **Verificación de Condiciones:** Verificar que las condiciones estén dentro de los parámetros requeridos para el tipo de revestimiento que se está aplicando.

Tabla 42

Checklist de Control de Condiciones Ambientales

Acción	¿Cumple con los requisitos? (Sí/No)

- ¿Se escaneó correctamente el código QR antes de comenzar el control?
- ¿Se registraron la temperatura y la humedad al inicio y durante el proceso?
- ¿Las condiciones fueron las adecuadas para la aplicación del revestimiento?

Nota. Elaboración propia

4.4.1.6. Fase 6: Preparación de la Plancha de Caucho Laminada

La preparación de la plancha de caucho es fundamental para garantizar una correcta adherencia a la pieza metálica. Este proceso incluye el dimensionamiento de la plancha, la generación de la rugosidad necesaria y la limpieza de la superficie.

4.4.1.6.1. Proceso:

- **Escaneo del Código QR:** Escanear el código QR para identificar la pieza y la plancha de caucho.
- **Dimensionamiento y Preparación:** La plancha de caucho se dimensiona según las especificaciones y se raspa para generar la rugosidad necesaria en la cara de adherencia.
- **Limpieza de la Superficie:** Limpiar la cara de la plancha con disolvente y dejar secar a temperatura ambiente.

4.4.1.7. Fase 7: Revestimiento de la Pieza con la Plancha Laminada

El revestimiento de la pieza metálica con caucho es realizado aplicando el pegamento en la pieza metálica y en la plancha de caucho, luego se fijan las superficies mediante presión manual o con el proceso de lauchado para piezas con formas más complejas.

4.4.1.7.1. Proceso:

- **Escaneo del Código QR:** Escanear el código QR para asegurar la trazabilidad de la pieza.
- **Aplicación de Pegamento:** Se aplica el pegamento de acuerdo con el tipo de caucho y se coloca la plancha en la pieza metálica.
- **Fijación del Revestimiento:** Se utiliza la ruleta para eliminar las bolsas de aire y asegurar la adherencia, o se emplea el proceso de lauchado para superficies tubulares.
- **Registro de la Actividad:** Se registra el peso del caucho utilizado y el tiempo necesario para completar el proceso.

Tabla 43

Checklist de Revestimiento con Plancha Laminada

Acción	¿Cumple con los requisitos? (Sí/No)
¿Se escaneó correctamente el código QR al inicio del revestimiento?	
¿Se aplicó el pegamento de acuerdo con el tipo de caucho?	
¿Se eliminó correctamente las bolsas de aire con la ruleta?	
¿Se utilizó el proceso de lauched para superficies tubulares, si era necesario?	

Nota. Elaboración propia

4.4.1.8. Fase 8: Vulcanizado de la Pieza Revestida

El vulcanizado es el proceso en el que la pieza revestida se somete a calor y presión para fijar permanentemente el caucho a la pieza metálica.

4.4.1.8.1. Proceso:

- **Escaneo del Código QR:** Escanear el código QR de la pieza para asegurar el control de calidad.
- **Vulcanización:** Introducir la pieza en la autoclave, controlando las dimensiones y el tiempo de vulcanizado.
- **Control de Vulcanizado:** Registrar los datos del proceso en el formato de control correspondiente.

Tabla 44

Checklist de Vulcanizado

Acción	¿Cumple con los requisitos? (Sí/No)
¿Se escaneó correctamente el código QR de la pieza antes de la vulcanización?	
¿La pieza fue sometida al proceso de vulcanizado correctamente?	
¿El control de las condiciones del vulcanizado fue adecuado (temperatura, tiempo)?	

Nota. Elaboración propia.

4.4.1.9. Fase 9: Acabados y Terminados de la Pieza Revestida

En esta fase se realizan los acabados finales en la pieza revestida, como el corte de excesos de caucho, el sellado de vértices y la pintura si es necesario.

4.4.1.9.1. Proceso:

- **Escaneo del Código QR:** Se escanea el código QR para continuar con la fase de acabados.
- **Corte de Excesos:** Se cortan los excesos de caucho vulcanizado.

- **Sellado de Vértices:** Se sellan los vértices donde el caucho se une con la pieza metálica.
- **Pintura (si es necesario):** Se pinta la pieza si es parte del proceso.
- **Registro de Actividades:** Registrar los trabajos realizados en cada pieza.

Tabla 45

Checklist de Acabados

Acción	¿Cumple con los requisitos? (Sí/No)
¿Se escaneó correctamente el código QR al inicio de la fase de acabados?	
¿Se cortaron correctamente los excesos de caucho?	
¿Se sellaron los vértices de unión adecuadamente?	
¿Se realizó la pintura (si era necesario)?	
<i>Nota.</i> Elaboración propia.	

4.4.1.10. Fase 10: Solicitar Liberación de Producto

Una vez que se han completado todas las fases anteriores, se solicita la liberación del producto terminado para su envío o entrega.

4.4.1.10.1. Proceso:

- **Escaneo del Código QR:** Escanear el código QR para verificar que el proceso haya sido completado.
- **Verificación de Calidad:** Se realiza la verificación final del producto, incluyendo pruebas de adherencia, dureza y medición de espesor.
- **Registro de Liberación:** Se registra en el sistema la liberación del producto si cumple con todos los estándares.

Tabla 46

Checklist de Liberación de Producto

Acción	¿Cumple con los requisitos? (Sí/No)
¿Se escaneó correctamente el código QR antes de la liberación del producto?	
¿El producto pasó todas las pruebas de calidad (adherencia, dureza, espesor)?	
¿Se registró correctamente la liberación en el sistema?	
<i>Nota.</i> Elaboración propia	

4.4.2. Desarrollo técnico del sistema Poka-Yoke

a) Objetivo

Implementar un sistema Poka-Yoke en las fases críticas del proceso de revestimiento con caucho, con el fin de prevenir errores humanos, reducir reprocesos y asegurar la calidad del producto final desde la primera pasada.

b) Identificación de errores frecuentes

A través de entrevistas con el área de planificación y observaciones directas en planta, se identificaron los errores más frecuentes dentro del proceso:

Tabla 47
Identificación de errores frecuente

Fase del proceso	Error común	Causa raíz	Frecuencia estimada
Recepción de OT	Datos incompletos en órdenes	Falta de validación previa	Alta
Aplicación de imprimante	Omisión de tiempo de secado	Falta de estandarización visual	Media
Preparación de planchas	Corte incorrecto	Medición manual sin guías	Alta
Vulcanizado	Tiempo de exposición inadecuado	Control manual impreciso	Baja
Liberación final	Checklist incompleto u omitido	Procedimiento manual sin alertas	Alta

Nota. Elaboración propia

c) Diseño de Poka-Yoke físicos y digitales

En base a los errores identificados, se plantearon las siguientes soluciones:

Tabla 48
Posibles soluciones

Fase	Tipo de Poka-Yoke	Descripción técnica	Validación
Recepción de OT	Validación digital con QR	El sistema bloquea el inicio si faltan planos o datos clave	Confirmación automática
Corte de planchas	Plantilla calibrada de acero	Dispositivo físico con medidas estándar codificadas por color	Comparación con plano

Aplicación de imprimante	Temporizador + luz LED	Luz verde se activa al cumplirse el tiempo mínimo de secado entre capas	Prueba de adherencia
Registro de datos	Formulario digital bloqueante	Tablet no permite avanzar si hay campos incompletos (tipo de caucho, lote, operario)	Registro automático
Liberación final	Checklist vinculado a QR	Si falta 1 ítem, el sistema no permite emitir la guía	Validación digital

Nota. Elaboración propia

d) Prototipo físico implementado: caso “corte de planchas de caucho”

Se diseñó una plantilla metálica con ranuras estándar para corte de caucho, codificadas por color según tipo de pieza. Esta plantilla se valida con el supervisor antes de iniciar el corte.

Resultado esperado: reducción del 90 % en errores de corte y eliminación de reprocesos por medidas incorrectas.

e) Indicadores de desempeño

Para establecer la línea base de los indicadores de desempeño, se procesaron los datos obtenidos de la observación de 50 órdenes de trabajo en el área de producción (ver Anexo 7).

La Tabla 46 presenta el cálculo de los principales indicadores identificados en el diagnóstico, que servirán como referencia para la propuesta de Poka-Yoke.

Tabla 49
Cálculo de indicadores de línea base del Poka-Yoke

Indicador	Fórmula	Datos utilizados	Resultado
% de errores operativos en preparación	$\frac{\text{N}^\circ \text{ OT con error en corte}}{\text{N}^\circ \text{ total de OT observadas}} \times 100$	8 errores / 50 OT	$\frac{8}{50} \times 100 = 8,5 \%$
% de reprocesos por mala adherencia	$\frac{\text{N}^\circ \text{ OT con reproceso por adherencia}}{\text{N}^\circ \text{ total de OT observadas}} \times 100$	3 reprocesos / 50 OT	$\frac{3}{50} \times 100 = 5,2 \%$
Tiempo promedio en validación de OT	$\frac{\sum \text{Tiempo validación de OT}}{n}$	120 min / 10 OT	$\frac{120}{10} = 12 \text{ min}$

$$\begin{array}{l} \% \text{ de} \\ \text{cumplimiento} \\ \text{del checklist} \\ \text{final} \end{array} \quad \frac{\text{N}^{\circ} \text{ OT con checklist completo}}{\text{N}^{\circ} \text{ total de OT observadas}} \times 100 \quad \begin{array}{l} 27 \\ \text{cumplidos} \\ / 50 \text{ OT} \end{array} \quad \frac{27}{50} \times 100 = 54 \%$$

Nota. Elaboración propia

Los resultados evidencian que el proceso actual presenta un 8,5 % de errores en preparación de planchas y un 5,2 % de reprocesos por adherencia, lo que confirma la existencia de fallas que prolongan los tiempos de entrega. Asimismo, el tiempo promedio de validación de OT es de 12 minutos, reflejando una actividad poco eficiente, y el cumplimiento del checklist final alcanza apenas el 54 %, lo cual expone la falta de control sistemático en la liberación del producto.

Con base en estos valores de línea base, se definieron las metas proyectadas y la frecuencia de medición de cada indicador. La Tabla 47 muestra los indicadores de desempeño propuestos para evaluar la efectividad de la implementación del sistema Poka-Yoke.

Tabla 50

Indicadores de desempeño

Indicador	Línea base	Meta proyectada	Frecuencia
% de errores operativos en preparación	8.5 %	≤ 2 %	Mensual
% de reprocesos por mala adherencia	5.2 %	≤ 1 %	Mensual
Tiempo promedio en validación de OT	12 min	≤ 5 min	Por orden
% de cumplimiento del checklist final	54 %	≥ 95 %	Semanal

Nota. Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 47, las metas de desempeño planteadas buscan reducir significativamente los errores en las fases críticas del proceso. En particular, se espera disminuir los errores operativos en preparación de 8,5 % a ≤ 2 % mediante el uso de plantillas calibradas, y los reprocesos por adherencia de 5,2 % a ≤ 1 % gracias al control visual y temporizado de los tiempos de secado. Asimismo, el tiempo de validación de OT se reduciría de 12 a 5 minutos gracias al sistema de códigos QR, y el cumplimiento del checklist final aumentaría de 54 % a ≥ 95 % con la digitalización del formato. Estas metas permitirán demostrar cuantitativamente la efectividad del sistema Poka-Yoke y su impacto en la reducción de los tiempos de entrega.

f) Plan piloto y validación

- Duración: **1 mes (10 órdenes de trabajo).**
- Áreas: **Corte, imprimación, vulcanizado.**

- Herramientas: **Plantilla física, sensores visuales, formatos digitales.**
- Criterios de éxito:
 - 0 errores en fase de corte.**
 - ≥ 90 % de cumplimiento en checklist.**
 - Retroalimentación positiva de los operarios.**

g) Plan de escalamiento progresivo

- Validar resultados del piloto en revestimiento plano.
- Aplicar en piezas cilíndricas (mayor complejidad).
- Integrar con TPM: checklist de inspección vinculado a mantenimiento.
- Digitalizar todo el flujo con trazabilidad por QR desde recepción hasta liberación final.

h) Resultados esperados

- Disminución de retrabajos mensuales de 10 a 2 piezas.
- Mejora del cumplimiento de estándares desde la primera pasada.
- Reducción del tiempo improductivo por errores humanos.
- Mayor estandarización del proceso y trazabilidad de la calidad.

4.5. Plan de capacitación general de la propuesta de mejora

4.5.1. Objetivo General

Capacitar al personal de planta, mantenimiento y supervisión en la correcta aplicación de las herramientas de manufactura esbelta (5S, TPM y Poka-Yoke), asegurando la sostenibilidad y eficacia de la propuesta de mejora para reducir los tiempos de entrega.

4.5.2. Objetivos Específicos

- Fortalecer las competencias del personal operativo y técnico en las fases del ciclo 5S.
- Desarrollar habilidades en mantenimiento autónomo y preventivo según principios TPM.
- Formar en el diseño e implementación de mecanismos de prevención de errores (Poka Yoke).

- Asegurar la estandarización y el compromiso continuo mediante evaluación y seguimiento.

4.5.3. Público objetivo

Tabla 51

Público objetivo

Grupo	Participantes
Operarios de planta	15
Técnicos de mantenimiento	3
Supervisores de producción, mantenimiento y calidad	3
Personal de soporte (planner, almacén)	2

Nota. Elaboración propia

4.5.4. Contenidos del Programa

Módulo 1: *Fundamentos de Lean Manufacturing y Cultura de Mejora Continua*

- Principios Lean y sus beneficios
- El rol del operario en la eficiencia productiva
- Eliminación de desperdicios (MUDA)
- Cultura Kaizen

Módulo 2: *Implementación práctica de las 5S*

- Fase 1: Seiri – Clasificación de herramientas
- Fase 2: Seiton – Organización visual
- Fase 3: Seiso – Rutinas de limpieza
- Fase 4: Seiketsu – Estandarización de prácticas
- Fase 5: Shitsuke – Auditoría y disciplina operativa

Módulo 3: *TPM – Mantenimiento Productivo Total*

- Concepto y pilares de TPM
- Mantenimiento autónomo vs. mantenimiento planificado
- Formatos de inspección diaria
- Indicadores de mantenimiento: MTTR, MTBF, disponibilidad
- Integración con calidad (control post-mantenimiento)

Módulo 4: Poka-Yoke – Prevención de errores

- Tipos de errores humanos y causas frecuentes
- Ejemplos de dispositivos físicos y controles visuales
- Checklist inteligentes y uso de códigos QR
- Diseño de prototipos simples y validación funcional

4.5.5. Cronograma de Ejecución

El cronograma de ejecución está propuesto de la siguiente forma:

Tabla 52

Cronograma de Ejecución de la capacitación

Semana	Actividad	Duración	Responsable
Semana 1	Inducción a Lean y Cultura de Mejora	4 h	Consultor externo
Semana 2	Capacitación en 5S – Teoría y práctica	8 h	Supervisor de calidad
Semana 3	Capacitación TPM – Parte I	4 h	Jefe de mantenimiento
Semana 4	TPM – Parte II + Taller de mantenimiento autónomo	4 h	Técnico senior
Semana 5	Capacitación en Poka-Yoke + taller de casos reales	8 h	Ingeniero de mejora
Semana 6	Evaluación final + simulación de auditoría 5S y TPM	4 h	Comité Lean

Nota. Elaboración propia

4.5.6. Metodología de Capacitación

- Clases teórico-prácticas con ejemplos reales de planta
- Simulación de situaciones de error y respuesta correctiva
- Dinámicas grupales y talleres en piso de planta
- Uso de checklist, formatos y herramientas visuales
- Desarrollo de prototipos de mejora (poka-yokes físicos)

4.5.7. Evaluación de Aprendizaje

Tabla 53

Evaluación de Aprendizaje

Tipo	Instrumento	Frecuencia
------	-------------	------------

Diagnóstico	Encuesta inicial de conocimientos	Semana 1
Formativa	Pruebas prácticas en cada módulo	Semanas 2–5
Sumativa	Examen final teórico-práctico + auditoría simulada	Semana 6

Nota. Elaboración propia

4.5.8. Indicadores de seguimiento

Los indicadores se muestran a detalle en la siguiente tabla.

Tabla 54
Indicadores de seguimiento

Indicador	Meta
% de participación en capacitaciones	$\geq 95\%$
Puntaje promedio en evaluación final	$\geq 80/100$
Nº de sugerencias de mejora generadas por los operarios	≥ 10
Reducción de errores operativos en el primer mes post-implementación	$\geq 30\%$

Nota. Elaboración propia

4.5.9. Documentos y soportes

- Manual de capacitación por módulo (PDF)
- Presentaciones en PowerPoint y hojas de trabajo
- Checklist impresos para cada área
- Formatos para evaluación y seguimiento de desempeño
- Tablero de control de participación y resultados

4.5.10. Resultados esperados

- Personal capacitado en la ejecución efectiva y sostenible de 5S, TPM y Poka-Yoke.
- Aumento del compromiso del equipo operativo en la mejora continua.
- Reducción de errores, retrabajos y tiempos muertos.
- Aumento del cumplimiento de entregas según cronograma.

4.6. Cronograma general de implementación de la propuesta de mejora

Para la implementación que la empresa debe realizar se propone el siguiente cronograma pero cabe mencionar que esta investigación solo se realiza hasta la etapa de propuesta.

Tabla 55

Cronograma general de implementación de la propuesta

Actividad / Fase	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Responsable
Capacitación general en Lean, 5S, TPM y Poka-Yoke	x				Consultor / Comité Lean
Implementación piloto de 5S en planta	x	x			Comité 5S + Operarios
Implementación de Poka-Yoke en corte y adhesión		x	x		Ingeniería de procesos
Mantenimiento autónomo (TPM – inspecciones y limpieza)		x	x	x	Operarios + Mantenimiento
Plan maestro de mantenimiento preventivo (TPM)			x	x	Área de Mantenimiento
Integración TPM + Calidad (checklists, QR)			x	x	Área de calidad
Medición de indicadores (MTTR, MTBF, disponibilidad, reprocesos)				x	Comité TPM
Evaluación de resultados y retroalimentación				x	Jefe de planta + Comité Lean

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 52 se presenta el cronograma general de implementación de la propuesta de mejora, con un horizonte de cuatro meses. Este cronograma integra las fases de capacitación, aplicación de las herramientas Lean (5S, Poka-Yoke, TPM), integración con el área de calidad y medición de indicadores de desempeño. La planificación temporal permite asegurar la ejecución ordenada de cada actividad, definir responsables y garantizar el logro de los resultados esperados en la reducción de tiempos de entrega.

4.7. Situación Actual vs Resultados Esperados

Con el objetivo de sustentar cuantitativamente la propuesta de mejora planteada, en la Tabla 53 se presenta una comparación entre la situación actual y los resultados esperados tras la implementación de las herramientas de Manufactura Esbelta (5S, TPM y Poka-Yoke).

Los valores de la situación actual fueron obtenidos a partir del diagnóstico realizado en el capítulo III, considerando el análisis de órdenes de trabajo, entrevistas al personal y registros de

producción y logística. Por su parte, los valores de la situación propuesta corresponden a metas proyectadas con base en:

- La aplicación de las herramientas Lean diseñadas en este capítulo,
- Los valores de línea base calculados en los indicadores, y
- Los estándares de referencia recomendados en literatura especializada (**Nakajima, 1988**)

Tabla 56
Resumen de Situación Actual vs Resultados Esperados

Indicador	Situación	Situación	Mejora
	Actual	Propuesta	Estimada
Tiempo promedio de entrega (días)	28.97	21.73	↓ 25 %
% de cumplimiento de entregas	56.16 %	75.00 %	↑ 18.84 p.p.
% de incumplimiento de entregas	43.84 %	25.00 %	↓ 18.84 p.p.
Rendimiento operativo (T/m ²)	5.31	4.80 (estándar)	Ajuste a estándar
Eficiencia del operario (%)	90.66 %	≥ 100 %	↑ 9.34 p.p.
Tiempo promedio de atención logística (días)	6.27	≤ 4.00	↓ 36 %

Nota. Elaboración propia

En la tabla se observa que el tiempo de entrega se reduciría en 25%, y el cumplimiento de entregas aumentaría casi 19 puntos porcentuales, lo que impacta directamente en la satisfacción del cliente. Asimismo, la eficiencia del operario alcanzaría valores de referencia estándar ($\geq 100\%$) gracias a la reducción de reprocesos y tiempos muertos. En el caso del rendimiento operativo, se establece un valor meta de 4.80 T/m² como estándar de referencia, lo que implica un balance más estable de la capacidad instalada. Finalmente, los tiempos logísticos se reducirían de 6.27 a ≤ 4 días, reflejando una mayor eficiencia en la gestión de compras y almacén.

CAPÍTULO V: EVALUACIÓN ECONÓMICA

5.1. Costo de la Propuesta de mejora

5.1.1. Costeo de la aplicación de las 5S

Se ha contemplado la capacitación del personal clave en el proceso de implementación de las 5S. Este costo corresponde a un curso especializado para el personal responsable de la aplicación de las 5S en las distintas áreas.

Tabla 57
Costo de capacitación del curso 5s

Puesto	Curso de capacitación
Supervisor de Almacén	S/ 1,100.00
Supervisor de Producción	S/ 1,100.00
Total	S/ 2,200.00

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se detalla el costo de capacitación de 5s al personal por parte del Supervisor de almacén y Supervisor de Producción.

Tabla 58
Costo de Capacitación al personal

Capacitación al personal del Curso de las 5s	Cantidad de Personal	Horas de Capacitación	Cantidad de Capacitaciones	Costo H-H	Total
Cap. (Supervisor de Almacén)	1	2	2	16,3	S/ 65,2
Cap. (Supervisor de Producción)	1	2	2	16,3	S/ 65,2
Planner de Operaciones	1	4	2	14,4	S/ 115,2
Asistente de Mantenimiento	1	4	2	12,2	S/ 97,6
Operarios	15	4	2	10,6	S/ 1272
Total					S/ 1615,2

Nota. Elaboración Propia.

Ahora se detallará el requerimiento de materiales por cada etapa de las 5S.

Tabla 59
Costo del requerimiento de materiales para las 5s

Descripción	Unidad de Medida	Unidades	P. U	Total
1S				
Tarjetas Rojas (100)	Paquete	3	S/ 99.90	S/ 299.70
Papel bond A-4	Millar	2	S/ 26.40	S/ 52.80
Lapiceros	Caja	1	S/ 20.00	S/ 20.00
2S				
Cinta Adhesiva (2" x 110 YD)	Unidad	3	S/ 3.39	S/ 10.17
Cinta Demarcatoria Amarilla (2" x 36 YD)	Unidad	3	S/ 29.90	S/ 89.70
Etiquetas térmicas (3 rollos)	Paquete	1	S/ 9.50	S/ 9.50
Cúter	Unidad	6	S/ 2.00	S/ 12.00
Plumones	Caja	2	S/ 7.50	S/ 15.00
3S				

Escoba	Unidad	2	S/ 15.00	S/ 30.00
Plumero	Unidad	3	S/ 7.00	S/ 21.00
Desinfectante	Unidad	2	S/ 15.00	S/ 30.00
Trapo Industrial	Unidad	10	S/ 2.00	S/ 20.00
Trapeador	Unidad	1	S/ 15.00	S/ 15.00
Recogedor	Unidad	2	S/ 10.00	S/ 20.00
Balde	Unidad	2	S/ 15.90	S/ 31.80
Contenedor de Basura	Unidad	4	S/ 40.00	S/ 160.00
4S				
Sticker de señalización	Paquete	1	S/ 50.00	S/ 50.00
Letreros	Unidad	12	S/ 100.00	S/ 1,200.00
Tablero de madera	Unidad	3	S/ 5.20	S/ 15.60
Micas A4 (10 und)	Paquete	10	S/ 2.50	S/ 25.00
5s				
Archivador	Unidad	5	S/ 6.30	S/ 31.50
Cinta	Unidad	15	S/ 6.50	S/ 97.50
Tinta impresora	Unidad	6	S/ 57.00	S/ 342.00
Bolsas 11 x 16	Paquete	30	S/ 4.30	S/ 129.00
Bolsas 13 x 19	Paquete	50	S/ 6.80	S/ 340.00
Bolsas 18 x 26	Paquete	60	S/ 13.00	S/ 780.00
Bolsas 9 x 14	Paquete	2	S/ 3.25	S/ 6.50
Gastos Operativos				
Casco	Unidad	20	S/ 30.00	S/ 600.00
Botas de Seguridad	Unidad	35	S/ 30.00	S/ 1,050.00
Total				S/ 5,503.77

Nota. Elaboración Propia

Tabla 60

Resumen de Costo total de Implementación de 5s

Aspectos	Costo
Curso de Capacitación del Curso del 5s	S/ 2,200.00
Capacitación de las 5s al personal	S/ 1,615.20
Requerimiento de Materiales	S/ 5,503.77
Total	S/ 9,318.77

Nota. Elaboración Propia.

El costo total de implementación de 5S asciende a S/ 9,318.77, equivalente al 11% de las pérdidas anuales por retrasos y reprocesos (S/ 85,000). Esta proporción evidencia que, con una inversión mínima, es posible atacar una de las principales causas de desorganización y tiempos muertos en planta. En otras palabras, la inversión en 5S se amortiza rápidamente al mejorar el flujo de materiales y reducir tiempos improductivos.

5.1.2. Costeo de la implementación del TPM

Se ha incluido la capacitación del personal clave, cuyo costo corresponde a un curso especializado en Mantenimiento Predictivo y Autónomo, dirigido al equipo encargado de llevar a cabo la implementación del TPM.

Tabla 61

Costo de capacitación de Mantenimiento Predictivo y Autónomo

Puesto	Curso de capacitación
Supervisor de Mantenimiento	S/ 1,800.00
Técnicos de Mantenimiento (03)	S/ 5,400.00
Total	S/ 7,200.00

Nota. Elaboración propia

Tabla 62

Resumen de Costo total de Implementación de TPM

Aspectos	Costo
Curso de capacitación de Mantenimiento Predictivo y Autónomo	S/ 7,200.00
Total	S/ 7,200.00

Nota. Elaboración Propia.

5.1.3. Costeo de la implementación del PokaYoke

Se ha propuesto automatizar todo el proceso, desde la generación de una orden de fabricación hasta la liberación del producto final. Esta automatización incluirá la implementación de un sistema de códigos QR, con el objetivo de asegurar que no se omita ningún paso o documento durante la transición de un proceso a otro. A continuación, se evaluarán los costos asociados a la implementación de esta automatización.

Tabla 63

Implementación del Sistema QR

Descripción	Unidades	P. U	Total
Desarrollo del sistema QR			
Análisis y diseño del flujo de trabajo	1	S/ 1,800.00	S/ 1,800.00
Programación e integración del sistema	1	S/ 2,700.00	S/ 2,700.00
Compra de hardware			
Escáner QR	10	S/ 360.00	S/ 3,600.00
Soporte para escáneres y accesorios	10	S/ 18.00	S/ 180.00
Cables y conectores	1	S/ 360.00	S/ 360.00
Licencia de software			
Licencia para 10 usuarios	10	S/ 540.00	S/ 5,400.00
Soporte y actualizaciones anuales	1	S/ 1,800.00	S/ 1,800.00
Mantenimiento y soporte (anual)			
Mantenimiento y soporte (anual)	1	S/ 3,600.00	S/ 3,600.00
Total			S/ 19,440.00

Nota. Elaboración Propia.

En la siguiente tabla se presenta los detalles de la capacitación del personal.

Tabla 64

Capacitación del personal

Capacitación técnica para el personal	Cantidad de Personal	Horas de Capacitación	Costo H-H	Total
Administrador de Ventas y Servicios	1	10	12,2	S/ 122.00
Supervisor de Producción	1	10	14,4	S/ 144.00
Líder de Revestimiento	1	10	10,6	S/ 106.00
Supervisor de Control de Calidad	1	10	14,4	S/ 144.00
Total				S/ 516.00

Nota. Elaboración Propia.

Interpretación:

La inversión en capacitación técnica (S/ 516.00) representa un costo bajo con alto impacto, ya que permite asegurar que el personal entienda y ejecute correctamente el sistema de Poka Yoke. Esta capacitación es clave para garantizar la sostenibilidad del cambio y la correcta utilización del sistema QR.

Tabla 65

Resumen de Costo total de implementación del Poka Yoke

Aspectos	Costo
Implementación del Sistema QR	S/ 19,440.00
Capacitación técnica para el personal	S/ 516.00
Total	S/ 19,956.00

Nota. Elaboración Propia.

Interpretación:

El costo total de la implementación del sistema QR y la capacitación es de S/ 19,956.00. Este monto incluye hardware, licencias, mantenimiento y formación. Esta inversión se justifica ampliamente por los beneficios en la reducción de errores, mejora del control y aumento de la productividad.

5.1.3.1. Resumen de costos de la propuesta

Aquí se presenta un resumen de los costos de las propuestas contempladas en este estudio.

Tabla 66
Resumen de los Costos de las Propuestas

Propuestas	Costo
Aplicación de las 5S	S/ 9,318.77
Implementación de TPM	S/ 7,200.00
PokaYoke	S/ 19,956.00
Total	S/ 36,474.77

Nota. Elaboración Propia.

Interpretación:

El costo total de implementación de las herramientas de mejora (5S, TPM y Poka Yoke) asciende a S/ 36,474.77. Este valor, relativamente bajo para los estándares industriales, refleja una estrategia de mejora integral y sostenible, con fuerte componente operativo, cultural y tecnológico.

5.2. Beneficios de la propuesta

5.2.1. Resumen de beneficios esperados por la implementación de las propuestas

A continuación, se muestra el resumen de los costos de las problemáticas por el incumplimiento de tiempo de entrega y los productos reprocesados. En el caso de las entregas retrasadas, se registraron 80 órdenes, cuyo costo adicional promedio por retraso se estimó en S/ 1,031.25, considerando penalizaciones, pérdida de confianza del cliente y costos logísticos asociados. Ello representa un total de S/ 82,500.00. Por otro lado, los productos reprocesados fueron 10 unidades, con un costo de retrabajo de S/ 250.00 por unidad, alcanzando S/ 2,500.00.

Tabla 67
Resumen de los costos de las problemáticas

Aspectos	Costo
Por incumplimiento de tiempo de entrega	S/ 82,500.00
Productos Reprocesados	S/ 2,500.00
Total	S/ 85,000.00

Nota. Elaboración Propia.

Interpretación:

Los retrasos en entregas generan pérdidas de S/ 82,500 anuales, mientras que los reprocesos representan S/ 2,500 adicionales, sumando un total de S/ 85,000 al año. Esta cifra equivale a más del doble de la inversión total en mejoras (S/ 36,474.77), lo que significa que la empresa pierde cada año más de lo que costaría implementar la propuesta. En términos de análisis económico, estos resultados demuestran que no implementar las mejoras representa un costo de oportunidad significativo. Los cálculos detallados que sustentan estos valores se presentan en el Anexo 8, donde se desglosan las órdenes retrasadas, el costo unitario por retraso y el costo por reproceso.

5.3. Análisis Beneficio / Costo

Se realizó el análisis de Beneficio/Costo donde debemos tener en cuenta lo siguiente:

Si $B/C > 1$; Se acepta – Si $B/C=1$; Indiferente – Si $B/C < 1$; Se rechaza

Tabla 68
Análisis Beneficio/Costo

Aspecto	Total
Costos de Implementación	S/ 36,474.77
Beneficios	S/ 85,000.00
Beneficio / Costo	2.33

Nota. Elaboración Propia.

Interpretación:

El análisis Beneficio/Costo arroja un valor de 2.33, lo que significa que, por cada sol invertido en la propuesta de mejora, la empresa obtiene un retorno de S/ 2.33 en beneficios. La inversión total de S/ 36,474.77 se recupera en menos de un año, ya que las pérdidas anuales por retrasos y reprocesos ascienden a S/ 85,000. Según los criterios financieros de evaluación de proyectos, un B/C superior a 2 clasifica a esta propuesta como un proyecto altamente rentable y prioritario de implementación.

CONCLUSIONES

PRIMERA. El análisis realizado evidenció que la empresa del rubro metalmeccánico presenta deficiencias significativas en la gestión de sus procesos productivos y logísticos. Los indicadores clave revelaron una eficiencia operativa del 90.66%, tiempos promedio de entrega de 28.97 días y un cumplimiento de órdenes de solo 56.16%. Asimismo, se identificaron reprocesos y retrasos considerables en la atención de solicitudes de compra (6.27 días promedio), lo que confirma la necesidad de implementar mejoras estructurales.

SEGUNDA. A través del análisis causa raíz y el uso de herramientas como el diagrama de Ishikawa y la técnica de los 5 porqués, se detectaron problemas relacionados con el desorden en las áreas de trabajo, la ocurrencia de reprocesos y los errores humanos durante la producción. Estos factores afectan directamente el desempeño de la empresa y justifican la aplicación de herramientas de manufactura esbelta, específicamente 5S, TPM y Poka Yoke.

TERCERA. Se diseñó una propuesta de mejora basada en herramientas de manufactura esbelta como las 5S, el Mantenimiento Productivo Total (TPM) y el sistema a prueba de errores (Poka Yoke), complementadas con métodos de ingeniería industrial como el estudio de tiempos, diagramas de proceso y listas de verificación. Cada herramienta fue seleccionada de acuerdo con las causas identificadas y adaptada a las necesidades de la empresa.

CUARTA. La interpretación de las tablas permitió verificar que las acciones planteadas se alinean con los problemas diagnosticados. Las 5S mejoran el orden y la limpieza, el TPM fortalece el mantenimiento preventivo y el Poka Yoke previene errores humanos mediante el uso de códigos QR, checklist y trazabilidad. Además, la fase Seiketsu asegura la estandarización de prácticas de orden y limpieza logradas con las 5S, garantizando uniformidad en la ejecución de las tareas y sostenibilidad en el tiempo.

QUINTA. El análisis económico demostró que la propuesta es viable y rentable. Con una inversión total de S/. 36,474.77 se espera evitar pérdidas anuales de S/. 85,000 derivadas de retrasos en entregas y reprocesos, según los cálculos presentados en el Anexo 8. El análisis beneficio/costo fue mayor a 1, lo cual valida la implementación de la mejora propuesta y su sostenibilidad en el tiempo.

RECOMENDACIONES

PRIMERA. Establecer un programa formal de auditorías internas 5S, con frecuencia trimestral, asignando responsables por área y vinculando los resultados a indicadores de gestión. Esto garantizará la sostenibilidad de la herramienta en el tiempo y evitará retrocesos en el orden y limpieza alcanzados.

SEGUNDA. Implementar un sistema de revisión anual del Plan Maestro de Mantenimiento (TPM), incorporando nuevas actividades de acuerdo con el historial de fallas. Además, se recomienda la creación de un comité TPM conformado por operarios, técnicos y supervisores, encargado de dar seguimiento a los indicadores de mantenimiento.

TERCERA. Fortalecer la gestión del conocimiento en la organización, institucionalizando un plan de capacitaciones anuales no solo en Lean Manufacturing, sino también en seguridad industrial, gestión de inventarios y control de calidad, asegurando el desarrollo integral del personal.

CUARTA. Consolidar la integración de herramientas digitales (códigos QR, checklist inteligentes y registros electrónicos) con el sistema de gestión de la empresa, de modo que los Poka Yoke planteados se conviertan en parte del ERP. Esto incrementará la trazabilidad y permitirá disponer de data histórica para análisis futuros.

QUINTA. Realizar un monitoreo semestral de indicadores clave (KPI) como tiempo promedio de entrega, eficiencia operativa, reprocesos y disponibilidad de equipos. Se sugiere publicar los resultados en tableros visuales para reforzar la cultura de transparencia y mejora continua. Asimismo, evaluar la posibilidad de replicar el modelo de mejora en otras áreas de la empresa (logística, almacén) a fin de maximizar los beneficios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Becerra Carrasco, A., & Villanueva Parasi, A. (2020). *Propuesta de reducción de tiempo de entrega de pedidos en una Mype del sector gráfico en Lima, mediante la utilización de herramientas Lean Manufacturing como VSM, SMED y KANBAN*. Lima: UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS.
- Ccasihue, Y., & Pareja, R. (2019). *Propuesta de mejora para reducir el tiempo de entrega de despacho de una empresa comercial aplicando Lean Manufacturing*. Lima: Univesidad Tecnológica del Perú.
- Dennis, P. (2022). *Lean Production Simplified: A Plain-Language Guide to the World's Most Powerful Production System*. Productivity Press.
- Ferris, T. (2007). *La semana laboral de 4 horas*.
- George, M., Rowlands, D., Price, M., & Maxexy, J. (2008). *The Lean Six Sigma Pocket Toolbook*. McGraw-Hill.
- Gómez-Meana Gutiérrez, A. (2023). *Lean Manufacturing, la Evidencia de un Modelo Competitivo*. Pearson.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hirano, H. (1996). *5 Pillars of the Visual Workplace: The Sourcebook for 5S Implementation*. Productivity Press.
- Imai, M. (1986). *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success*. McGraw-Hill.
- Ishikawa, K. (1985). *What is Total Quality Control? The Japanese Way*. Prentice-Hall.
- Jeff, S. (2014). *Scrum: El arte de hacer el doble de trabajo en la mitad de tiempo*.
- Liker, J. (2004). *The Toyota Way*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Liker, J. (2024). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill Education.
- Martínez-Pérez, F., & Vázquez-Ramos, C. (2022). *Reducción de desperdicios en procesos industriales mediante herramientas Lean*. España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Mexicano Santoyo, A., Hernández Hinojosa, M., Carmona Frausto, J., Cervantes Alvarez, S., & Montes Dorantes, P. (2023). *Mejora de procesos de laboratorio de mecánica de*

- suelos aplicando herramientas de manufactura esbelta. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 14(27).
doi:<https://doi.org/10.23913/ride.v14i27.1641>
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Productivity Press.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press.
- Pro Optim.* (2023). Obtenido de <https://blog.pro-optim.com/mejorar-productividad/la-gestion-del-tiempo-y-la-productividad/>
- Ries, E. (2011). *El método Lean Startup*.
- Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate MUDA*. Lean Enterprise Institute.
- Shingo, S. (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Productivity Press.
- Shingo, S. (1986). *Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke System*. Productivity Press.
- Urigoitia. (2023). *Lean Manufacturing: Principios, Herramientas y Métodos de Implementación*. Alfaomega.
- Vargas Crisóstomo, E., & Camero Jiménez, J. (2021). Aplicación del Lean Manufacturing (5s y Kaizen) para el incremento de la productividad en el área de producción de adhesivos acuosos de una empresa manufacturera. *Industrial Data*, 24(2), 249-271.
doi:<https://dx.doi.org/10.15381/idata.v24i2.19485>
- Velasquez Rivera, C. J. (2023). *IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS LEAN PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN EN UNA EMPRESA AGROEXPORTADORA*. Lima, Perú.
- Velázquez Mastretta, G. (2001). *Administración de los Sistemas de Producción*. México: Noriega Editores.
- Vénato, C. (1994). *Administración de la Producción*. McGraw-Hill.
- Womack, J., & Jones, D. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Nueva York: Simon & Schuster.
- Womack, J., & Jones, D. (2022). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Free Press.

Womack, J., Jones, D., & Roos, D. (1990). *The Machine That Changed the World*. Nueva York: Rawson Associates.



ANEXOS

Anexo 1:

Guía de Entrevista Semiestructurada

Cargo: Planner de Producción

Área: Producción

Fecha de la entrevista: 21 de Agosto del 2024

Tipo de entrevista: Semiestructurada

Entrevistador: Andrea Anampa Ormeño

Objetivo del instrumento:

Recolectar información relevante sobre las actividades productivas, dificultades operativas, tiempos de entrega y propuestas de mejora desde la perspectiva del área de Producción.

Guía y desarrollo de la entrevista

1. ¿Cuáles son las principales actividades que realiza el área de Producción relacionadas directamente con la entrega del producto al cliente?

- Requerimiento y seguimiento de materiales e insumos de terceros.
- Control de calidad del producto final.
- Gestión de costos y presupuestos.
- Planificación y control de la producción.

2. De esas actividades, ¿cuál considera que es la más crítica o demandante en términos de tiempo, recursos o impacto en la calidad del producto final?

- Planificación y control productivo.

3. ¿Qué características o requisitos determinan la calidad del producto final entregado al cliente?

- Cumplir con las especificaciones técnicas del cliente.
- Entregar dentro del plazo establecido.
- Contar con documentación completa: certificados, dosieres, guías y conformidades.

4. ¿Cuáles son los principales problemas que enfrentan durante la ejecución de sus actividades? Ordénelos del más frecuente al menos frecuente.

1. Tiempos de entrega reducidos.
2. Procedimientos administrativos lentos.

3. Condiciones inadecuadas de trabajo (herramientas en mal estado, iluminación deficiente).

5. ¿Estos problemas generan principalmente pérdida de tiempo o pérdida económica?

– Principalmente pérdida de tiempo.

6. ¿Han recibido quejas de los clientes? ¿Sobre qué aspectos? ¿A qué causas lo atribuye?

– Sí, por incumplimientos en las fechas de entrega.

– Se atribuyen a demoras administrativas y falta de condiciones de trabajo.

7. ¿Han recibido quejas de los empleados? ¿Cuáles son las principales?

– Sí:

- Herramientas en mal estado.
- Iluminación deficiente.
- Sobrecarga de trabajo por plazos ajustados.

8. ¿Cuál considera que es la mejora más urgente que debería implementarse?

– Mejorar los procedimientos de gestión.

– Mejorar las condiciones laborales.

– Reorganizar o capacitar al personal encargado de la gestión.

9. ¿Qué herramientas utilizan actualmente para la planificación? ¿Considera que son eficientes?

– Se utiliza Microsoft Project.

– No se cuenta con un sistema ERP, lo que limita la eficiencia.

10. ¿Se ha implementado alguna metodología de mejora continua? ¿Qué resultados ha tenido?

– No se ha implementado ninguna metodología formal como Lean, 5S, etc.

11. ¿Qué tan coordinadas están las áreas de producción, almacén y compras? ¿Esa coordinación influye en los retrasos?

– Hay coordinación, pero no se cumplen los compromisos entre áreas, lo que genera retrasos.

12. ¿Existen tiempos muertos dentro del proceso productivo? ¿A qué se deben?

– Sí, causados por esperas de materiales, aprobaciones administrativas y fallas de equipos.

Observaciones del entrevistador:

La entrevista evidencia que los retrasos en las entregas no se deben únicamente a la ejecución operativa, sino también a fallos en la gestión interna y a la falta de herramientas de mejora continua. Esto refuerza la pertinencia de una propuesta basada en manufactura esbelta.

Anexo 2:

Guía de Observación Documental

Objetivo del instrumento:

Analizar documentos clave de la empresa para identificar el estado actual de la gestión operativa, estructura organizacional y desempeño en el cumplimiento de los tiempos de entrega.

Fecha de aplicación: Diciembre de 2024

Responsable de la observación: Andrea Anampa Ormeño

Áreas involucradas: Dirección, Producción, Planeamiento

Formato de observación

Nº	Documento revisado	Área responsable	Contenido observado	Observaciones / Hallazgos relevantes
1	Visión y Misión de la empresa	Dirección general	Se observa el enfoque en calidad, compromiso con el cliente y mejora continua	No se hace mención específica a la eficiencia operativa o tiempos
2	Organigrama general	Dirección general	Se identifican las áreas clave: producción, logística, almacén, etc.	No existe un área exclusiva de mejora continua o ingeniería de procesos
3	Mapa de procesos	Planeamiento	Define los procesos estratégicos, operativos y de soporte	El flujo de producción no está detallado; faltan indicadores de tiempos
4	Reporte de órdenes de fabricación – 2024	Producción / PCP	Muestra fecha de generación de órdenes y fecha real de entrega	El 43.84% de las órdenes fueron entregadas fuera del plazo establecido

Resumen de hallazgos clave:

- Existe un desfase importante entre la misión de mejora y la falta de un sistema documentado de control eficiente de tiempos.
- La estructura organizacional carece de una unidad formal dedicada a la mejora de procesos.
- El mapa de procesos carece de métricas o responsables asignados por etapa.

- El análisis de 219 órdenes de fabricación del 2024 evidenció que **96 órdenes (43.84%) fueron entregadas con retraso**, siendo el promedio de 52.94 días.

Anexo 3:

Guía de Observación Directa (Aplicación No Presencial)

Objetivo:

Observar y analizar el desempeño de los operarios en el proceso de revestimiento en caliente, identificando tiempos reales de producción y posibles ineficiencias.

Método de aplicación:

Debido a limitaciones de acceso directo a planta, esta guía fue aplicada de forma indirecta, utilizando información obtenida mediante entrevistas técnicas, registros históricos de producción y simulaciones basadas en datos reales proporcionados por la empresa.

Aspectos observados:

- Actividades del operario en el proceso de revestimiento de piezas metálicas con caucho de 6 mm.
- Cantidad de metros cuadrados revestidos por operario (10 m² por muestra).
- Tiempo real de ejecución por operario (minutos).
- Comparación con el tiempo estándar establecido (48.02 min por 10 m²).
- Cálculo de rendimiento (min/m²) y eficiencia por operario (%).

Operario	m ² Revestidos (6mm)	Tiempo Estándar (T)	Tiempo Real (T)	Rendimiento Estándar (T/m ²)	Rendimiento Real (T/m ²)	Eficiencia (%)
Operario 1	10	48,02	55,12	4,802	5,512	87,12
Operario 2	10	48,02	53,22	4,802	5,322	90,23
Operario 3	10	48,02	55,57	4,802	5,557	86,41
Operario 4	10	48,02	58,2	4,802	5,82	82,51
Operario 5	10	48,02	52,93	4,802	5,293	90,72
Operario 6	10	48,02	52,93	4,802	5,293	90,72
Operario 7	10	48,02	58,37	4,802	5,837	82,27
Operario 8	10	48,02	55,93	4,802	5,593	85,86
Operario 9	10	48,02	52,22	4,802	5,222	91,96
Operario 10	10	48,02	55,26	4,802	5,526	86,9
Operario 11	10	48,02	52,24	4,802	5,224	91,92
Operario 12	10	48,02	52,23	4,802	5,223	91,94
Operario 13	10	48,02	54,36	4,802	5,436	88,34
Operario 14	10	48,02	47,89	4,802	4,789	100,27
Operario 15	10	48,02	48,46	4,802	4,846	99,09
Operario 16	10	48,02	51,94	4,802	5,194	92,45
Operario 17	10	48,02	50,59	4,802	5,059	94,92
Operario 18	10	48,02	54,57	4,802	5,457	88
Operario 19	10	48,02	50,91	4,802	5,091	94,32
Operario 20	10	48,02	49,39	4,802	4,939	97,23

Observaciones:

La eficiencia de los operarios varió entre 82% y 93%, lo que evidencia la necesidad de reforzar la estandarización y capacitación para reducir tiempos improductivos.

Anexo 4:

Base de Datos de Solicitudes de Compra

N° Solicitud	Fecha de Solicitud	Fecha de Atención	Tiempo de Atención (días)
SC-1000	2024-01-01 00:00:00	2024-01-05 00:00:00	4
SC-1001	2024-01-04 00:00:00	2024-01-12 00:00:00	8
SC-1002	2024-01-07 00:00:00	2024-01-12 00:00:00	5
SC-1003	2024-01-10 00:00:00	2024-01-20 00:00:00	10
SC-1004	2024-01-13 00:00:00	2024-01-17 00:00:00	4
SC-1005	2024-01-16 00:00:00	2024-01-22 00:00:00	6
SC-1006	2024-01-19 00:00:00	2024-01-23 00:00:00	4
SC-1007	2024-01-22 00:00:00	2024-01-30 00:00:00	8
SC-1008	2024-01-25 00:00:00	2024-01-31 00:00:00	6
SC-1009	2024-01-28 00:00:00	2024-02-07 00:00:00	10
SC-1010	2024-01-31 00:00:00	2024-02-08 00:00:00	8
SC-1011	2024-02-03 00:00:00	2024-02-06 00:00:00	3
SC-1012	2024-02-06 00:00:00	2024-02-11 00:00:00	5
SC-1013	2024-02-09 00:00:00	2024-02-19 00:00:00	10
SC-1014	2024-02-12 00:00:00	2024-02-15 00:00:00	3
SC-1015	2024-02-15 00:00:00	2024-02-26 00:00:00	11
SC-1016	2024-02-18 00:00:00	2024-02-28 00:00:00	10
SC-1017	2024-02-21 00:00:00	2024-03-03 00:00:00	11
SC-1018	2024-02-24 00:00:00	2024-03-01 00:00:00	6
SC-1019	2024-02-27 00:00:00	2024-03-01 00:00:00	3
SC-1020	2024-03-01 00:00:00	2024-03-06 00:00:00	5
SC-1021	2024-03-04 00:00:00	2024-03-12 00:00:00	8
SC-1022	2024-03-07 00:00:00	2024-03-16 00:00:00	9
SC-1023	2024-03-10 00:00:00	2024-03-14 00:00:00	4
SC-1024	2024-03-13 00:00:00	2024-03-15 00:00:00	2
SC-1025	2024-03-16 00:00:00	2024-03-21 00:00:00	5
SC-1026	2024-03-19 00:00:00	2024-03-22 00:00:00	3
SC-1027	2024-03-22 00:00:00	2024-03-31 00:00:00	9
SC-1028	2024-03-25 00:00:00	2024-03-30 00:00:00	5
SC-1029	2024-03-28 00:00:00	2024-03-31 00:00:00	3

Anexo 5:

Base de Datos de Tiempos de Entrega de Ordenes de fabricación

OF	Fecha de generación	Fecha Real de entrega	Fecha de compromiso con el cliente	Tiempo de Entrega (días)
OF-001-0002069	02/01/2024	07/01/2024	23/01/2024	5
OF-001-0002070	05/01/2024	11/01/2024	17/01/2024	6
OF-001-0002071	05/01/2024	11/01/2024	19/01/2024	6
OF-001-0002072	06/01/2024	09/01/2024	17/01/2024	3
OF-001-0002073	06/01/2024	06/01/2024	06/01/2024	0
OF-001-0002074	09/01/2024	11/01/2024	13/01/2024	2
OF-001-0002075	11/01/2024	19/01/2024	31/01/2024	8
OF-001-0002076	11/01/2024	28/01/2024	22/02/2024	17
OF-001-0002077	11/01/2024	03/02/2024	25/01/2024	23
OF-001-0002078	12/01/2024	03/02/2024	02/06/2024	22
OF-001-0002079	13/01/2024	28/03/2024	17/02/2024	74
OF-001-0002080	13/01/2024	27/03/2024	17/02/2024	73
OF-001-0002081	17/01/2024	24/01/2024	19/01/2024	7
OF-001-0002082	19/01/2024	24/01/2024	09/02/2024	5
OF-001-0002083	20/01/2024	21/02/2024	31/01/2024	32
OF-001-0002084	23/01/2024	07/03/2024	03/04/2024	43
OF-001-0002085	23/01/2024	24/02/2024	08/02/2024	32
OF-001-0002086	24/01/2024	27/02/2024	04/04/2024	34
OF-001-0002087	26/01/2024	23/02/2024	23/02/2024	28
OF-001-0002088	26/01/2024	02/02/2024	17/02/2024	7
OF-001-0002089	03/02/2024	21/02/2024	21/02/2024	18
OF-001-0002090	09/02/2024	08/03/2024	08/03/2024	27
OF-001-0002091	09/02/2024	02/03/2024	10/02/2024	21
OF-001-0002092	09/02/2024	24/02/2024	13/02/2024	15
OF-001-0002093	10/02/2024	13/02/2024	11/03/2024	3
OF-001-0002095	11/02/2024	05/04/2024	24/02/2024	53
OF-001-0002096	11/02/2024	02/03/2024	18/02/2024	19
OF-001-0002097	14/02/2024	24/02/2024	20/03/2024	10
OF-001-0002099	17/02/2024	24/03/2024	14/03/2024	35
OF-001-0002101	22/02/2024	27/03/2024	08/03/2024	33
OF-001-0002102	22/02/2024	25/04/2024	08/03/2024	62
OF-001-0002103	23/02/2024	08/03/2024	06/03/2024	13
OF-001-0002104	23/02/2024	08/03/2024	14/03/2024	13
OF-001-0002105	24/02/2024	07/03/2024	03/03/2024	11
OF-001-0002107	28/02/2024	15/05/2024	24/03/2024	76
OF-001-0002108	28/02/2024	08/03/2024	01/04/2024	8
OF-001-0002109	28/02/2024	03/03/2024	11/03/2024	3
OF-001-0002110	01/03/2024	05/07/2024	20/03/2024	126
OF-001-0002111	04/03/2024	15/05/2024	04/04/2024	72
OF-001-0002112	04/03/2024	21/03/2024	13/04/2024	17
OF-001-0002115	07/03/2024	17/04/2024	03/04/2024	41
OF-001-0002116	08/03/2024	10/03/2024	03/04/2024	2
OF-001-0002117	08/03/2024	08/03/2024	12/04/2024	0
OF-001-0002118	13/03/2024	11/05/2024	16/05/2024	59
OF-001-0002119	13/03/2024	05/04/2024	05/04/2024	23
OF-001-0002120	14/03/2024	27/04/2024	16/03/2024	44
OF-001-0002121	14/03/2024	25/04/2024	23/03/2024	42
OF-001-0002122	15/03/2024	18/04/2024	03/04/2024	34

OF-001-0002123	15/03/2024	16/03/2024	25/04/2024	1
OF-001-0002126	20/03/2024	02/06/2024	28/03/2024	74
OF-001-0002127	20/03/2024	29/03/2024	31/03/2024	9
OF-001-0002129	21/03/2024	28/03/2024	20/04/2024	7
OF-001-0002130	23/03/2024	11/04/2024	11/05/2024	19
OF-001-0002131	23/03/2024	01/04/2024	25/04/2024	9
OF-001-0002132	23/03/2024	29/05/2024	15/05/2024	67
OF-001-0002133	24/03/2024	05/06/2024	24/04/2024	73
OF-001-0002134	24/03/2024	11/04/2024	05/05/2024	18
OF-001-0002135	28/03/2024	30/06/2024	31/03/2024	94
OF-001-0002136	30/03/2024	29/04/2024	16/04/2024	30
OF-001-0002137	30/03/2024	11/04/2024	04/04/2024	12
OF-001-0002138	31/03/2024	31/03/2024	20/04/2024	0
OF-001-0002139	04/04/2024	18/04/2024	27/04/2024	14
OF-001-0002141	04/04/2024	18/04/2024	20/04/2024	14
OF-001-0002142	04/04/2024	27/04/2024	28/04/2024	23
OF-001-0002144	14/04/2024	19/04/2024	24/05/2024	5
OF-001-0002145	14/04/2024	24/04/2024	31/05/2024	10
OF-001-0002146	14/04/2024	27/04/2024	31/05/2024	13
OF-001-0002151	17/04/2024	27/04/2024	15/05/2024	10
OF-001-0002153	24/04/2024	16/05/2024	26/04/2024	22
OF-001-0002154	24/04/2024	05/06/2024	02/05/2024	42
OF-001-0002155	24/04/2024	11/05/2024	09/05/2024	17
OF-001-0002156	25/04/2024	26/04/2024	31/05/2024	1
OF-001-0002157	02/05/2024	05/05/2024	16/05/2024	3
OF-001-0002158	02/05/2024	26/05/2024	14/06/2024	24
OF-001-0002159	03/05/2024	28/06/2024	04/05/2024	56
OF-001-0002160	03/05/2024	13/05/2024	05/06/2024	10
OF-001-0002162	03/05/2024	10/06/2024	02/06/2024	38
OF-001-0002163	03/05/2024	04/05/2024	26/05/2024	1
OF-001-0002166	06/05/2024	12/05/2024	25/05/2024	6
OF-001-0002168	15/05/2024	25/05/2024	31/05/2024	10
OF-001-0002169	16/05/2024	30/05/2024	19/05/2024	14
OF-001-0002170	17/05/2024	18/05/2024	31/05/2024	1
OF-001-0002171	18/05/2024	09/06/2024	19/05/2024	22
OF-001-0002173	19/05/2024	31/05/2024	31/05/2024	12
OF-001-0002175	20/05/2024	16/09/2024	04/06/2024	119
OF-001-0002176	22/05/2024	23/05/2024	23/06/2024	1
OF-001-0002178	23/05/2024	17/06/2024	23/08/2024	25
OF-001-0002181	26/05/2024	13/06/2024	20/06/2024	18
OF-001-0002182	31/05/2024	06/06/2024	14/07/2024	6
OF-001-0002183	01/06/2024	19/09/2024	06/06/2024	110
OF-001-0002184	01/06/2024	19/06/2024	20/07/2024	18
OF-001-0002185	01/06/2024	25/09/2024	30/06/2024	116
OF-001-0002186	05/06/2024	21/11/2024	04/07/2024	169
OF-001-0002188	05/06/2024	06/06/2024	04/07/2024	1
OF-001-0002189	05/06/2024	09/06/2024	05/07/2024	4
OF-001-0002190	08/06/2024	19/09/2024	07/07/2024	103
OF-001-0002191	09/06/2024	30/06/2024	14/07/2024	21
OF-001-0002193	14/06/2024	06/07/2024	22/06/2024	22
OF-001-0002194	14/06/2024	28/06/2024	30/06/2024	14
OF-001-0002197	19/06/2024	30/06/2024	19/07/2024	11
OF-001-0002201	22/06/2024	03/07/2024	30/06/2024	11
OF-001-0002202	23/06/2024	30/06/2024	31/07/2024	7

OF-001-0002203	26/06/2024	20/07/2024	24/07/2024	24
OF-001-0002205	27/06/2024	05/07/2024	25/07/2024	8
OF-001-0002206	28/06/2024	28/06/2024	21/07/2024	0
OF-001-0002211	04/07/2024	25/07/2024	08/07/2024	21
OF-001-0002214	07/07/2024	10/07/2024	20/09/2024	3
OF-001-0002216	07/07/2024	08/07/2024	13/07/2024	1
OF-001-0002217	07/07/2024	08/07/2024	14/07/2024	1
OF-001-0002221	12/07/2024	31/07/2024	19/09/2024	19
OF-001-0002222	13/07/2024	14/07/2024	17/07/2024	1
OF-001-0002219	14/07/2024	03/05/2025	24/07/2024	294
OF-001-0002224	14/07/2024	06/10/2024	31/08/2024	84
OF-001-0002225	14/07/2024	17/07/2024	27/07/2024	3
OF-001-0002226	18/07/2024	02/11/2024	02/08/2024	107
OF-001-0002228	18/07/2024	12/10/2024	24/07/2024	86
OF-001-0002230	20/07/2024	25/07/2024	26/07/2024	5
OF-001-0002229	21/07/2024	18/08/2024	31/08/2024	28
OF-001-0002232	24/07/2024	24/07/2024	09/08/2024	0
OF-001-0002233	24/07/2024	25/07/2024	31/07/2024	1
OF-001-0002234	27/07/2024	30/07/2024	29/08/2024	3
OF-001-0002237	27/07/2024	07/08/2024	04/09/2024	11
OF-001-0002240	31/07/2024	26/09/2024	16/08/2024	57
OF-001-0002241	04/08/2024	04/08/2024	09/08/2024	0
OF-001-0002244	07/08/2024	14/08/2024	01/09/2024	7
OF-001-0002245	07/08/2024	04/12/2024	06/11/2024	119
OF-001-0002247	07/08/2024	10/10/2024	04/09/2024	64
OF-001-0002249	10/08/2024	11/08/2024	11/08/2024	1
OF-001-0002250	11/08/2024	13/08/2024	31/08/2024	2
OF-001-0002251	11/08/2024	14/09/2024	18/08/2024	34
OF-001-0002252	14/08/2024	28/11/2024	07/09/2024	106
OF-001-0002253	14/08/2024	16/09/2024	10/11/2024	33
OF-001-0002254	16/08/2024	19/12/2024	25/09/2024	125
OF-001-0002255	17/08/2024	24/08/2024	25/09/2024	7
OF-001-0002256	18/08/2024	18/08/2024	25/09/2024	0
OF-001-0002257	18/08/2024	06/10/2024	13/11/2024	49
OF-001-0002258	18/08/2024	06/11/2024	20/09/2024	80
OF-001-0002264	29/08/2024	31/08/2024	03/10/2024	2
OF-001-0002265	29/08/2024	31/08/2024	05/09/2024	2
OF-001-0002266	01/09/2024	02/09/2024	10/10/2024	1
OF-001-0002269	05/09/2024	21/09/2024	08/09/2024	16
OF-001-0002271	07/09/2024	08/09/2024	25/09/2024	1
OF-001-0002272	08/09/2024	09/01/2025	12/09/2024	123
OF-001-0002273	08/09/2024	08/09/2024	13/09/2024	0
OF-001-0002275	12/09/2024	19/09/2024	13/09/2024	7
OF-001-0002276	12/09/2024	12/09/2024	14/09/2024	0
OF-001-0002277	13/09/2024	14/09/2024	06/12/2024	1
OF-001-0002278	13/09/2024	09/10/2024	14/10/2024	26
OF-001-0002280	14/09/2024	16/09/2024	20/10/2024	2
OF-001-0002281	14/09/2024	20/01/2025	13/10/2024	128
OF-001-0002285	15/09/2024	09/10/2024	19/09/2024	24
OF-001-0002286	15/09/2024	18/09/2024	15/12/2024	3
OF-001-0002287	15/09/2024	16/09/2024	30/10/2024	1
OF-001-0002288	18/09/2024	20/09/2024	30/10/2024	2
OF-001-0002289	20/09/2024	08/11/2024	30/10/2024	49
OF-001-0002291	20/09/2024	23/10/2024	30/10/2024	33

OF-001-0002292	21/09/2024	21/09/2024	30/10/2024	0
OF-001-0002293	21/09/2024	03/11/2024	11/10/2024	43
OF-001-0002295	22/09/2024	03/10/2024	26/10/2024	11
OF-001-0002296	26/09/2024	27/09/2024	13/10/2024	1
OF-001-0002297	27/09/2024	30/10/2024	25/09/2024	33
OF-001-0002298	29/09/2024	29/09/2024	25/09/2024	0
OF-001-0002300	29/09/2024	30/10/2024	29/09/2024	31
OF-001-0002301	02/10/2024	02/10/2024	13/10/2024	0
OF-001-0002302	02/10/2024	10/10/2024	29/09/2024	8
OF-001-0002303	03/10/2024	30/10/2024	02/10/2024	27
OF-001-0002305	07/10/2024	30/10/2024	31/10/2024	23
OF-001-0002306	11/10/2024	13/11/2024	28/11/2024	33
OF-001-0002308	12/10/2024	27/10/2024	31/10/2024	15
OF-001-0002310	12/10/2024	05/12/2024	02/11/2024	54
OF-001-0002311	12/10/2024	10/11/2024	16/10/2024	29
OF-001-0002312	13/10/2024	28/11/2024	10/11/2024	46
OF-001-0002313	16/10/2024	03/11/2024	10/11/2024	18
OF-001-0002314	23/10/2024	21/12/2024	30/10/2024	59
OF-001-0002318	23/10/2024	07/11/2024	20/10/2024	15
OF-001-0002319	23/10/2024	07/11/2024	20/10/2024	15
OF-001-0002321	27/10/2024	06/03/2025	06/11/2024	131
OF-001-0002322	30/10/2024	01/12/2024	06/11/2024	32
OF-001-0002324	31/10/2024	15/11/2024	21/11/2024	15
OF-001-0002325	31/10/2024	14/11/2024	31/10/2024	14
OF-001-0002326	02/11/2024	13/11/2024	14/11/2024	11
OF-001-0002327	06/11/2024	16/01/2025	01/11/2024	71
OF-001-0002328	08/11/2024	15/11/2024	14/11/2024	7
OF-001-0002329	08/11/2024	10/11/2024	27/11/2024	2
OF-001-0002330	10/11/2024	10/06/2025	24/11/2024	213
OF-001-0002331	10/11/2024	14/11/2024	08/11/2024	4
OF-001-0002332	14/11/2024	24/11/2024	02/12/2024	10
OF-001-0002333	22/11/2024	11/12/2024	20/11/2024	19
OF-001-0002334	22/11/2024	19/03/2025	10/12/2024	118
OF-001-0002335	22/11/2024	20/12/2024	26/12/2024	28
OF-001-0002336	23/11/2024	23/11/2024	22/12/2024	0
OF-001-0002337	24/11/2024	24/11/2024	23/11/2024	0
OF-001-0002339	29/11/2024	29/11/2024	24/11/2024	0
OF-001-0002340	29/11/2024	29/11/2024	29/11/2024	0
OF-001-0002341	30/11/2024	07/12/2024	29/11/2024	7
OF-001-0002342	01/12/2024	11/01/2024	14/12/2024	41
OF-001-0002345	04/12/2024	05/12/2024	21/12/2024	1
OF-001-0002343	05/12/2024	27/01/2024	22/12/2024	53
OF-001-0002344	05/12/2024	07/12/2024	07/12/2024	2
OF-001-0002346	07/12/2024	13/12/2024	12/12/2024	6
OF-001-0002347	07/12/2024	07/12/2024	07/12/2024	0
OF-001-0002349	11/12/2024	06/02/2025	06/12/2024	57
OF-001-0002350	11/12/2024	30/01/2025	10/02/2024	50
OF-001-0002353	12/12/2024	04/01/2025	09/01/2024	23
OF-001-0002354	12/12/2024	25/01/2025	11/01/2024	44
OF-001-0002355	15/12/2024	27/01/2025	14/01/2024	43
OF-001-0002356	15/12/2024	15/12/2024	15/12/2024	0
OF-001-0002357	15/12/2024	25/01/2025	16/01/2025	41
OF-001-0002358	15/12/2024	25/01/2025	16/01/2025	41
OF-001-0002360	18/12/2024	29/01/2025	20/12/2024	42

OF-001-0002362	18/12/2024	03/01/2025	24/01/2025	16
OF-001-0002364	20/12/2024	21/12/2024	21/12/2024	1
OF-001-0002365	21/12/2024	16/01/2025	12/01/2025	26
OF-001-0002366	21/12/2024	26/12/2024	26/12/2024	5
OF-001-0002367	26/12/2024	12/01/2025	09/01/2024	17
OF-001-0002368	26/12/2024	05/01/2025	26/01/2024	10
OF-001-0002369	28/12/2024	30/12/2024	30/12/2024	2
OF-001-0002370	29/12/2024	29/12/2024	29/12/2024	0
OF-001-0002371	29/12/2024	09/01/2025	13/01/2025	11



Anexo 6:

Base de datos de fallas y reparaciones para el cálculo de indicadores de mantenimiento

ID Falla	Equipo	Fecha y hora de falla	Duración de reparación (horas)	Fecha y hora de reinicio	Horas operación entre fallas
F001	Autoclave-01	2025-07-01 19:00	5,83	2025-07-02 00:49	20,81
F003	Compresor-04	2025-07-02 08:00	6,91	2025-07-02 14:54	19,62
F012	Granalladora-03	2025-07-03 11:00	6,98	2025-07-03 17:58	15,09
F020	Compresor-04	2025-07-05 12:00	7,59	2025-07-05 19:35	23,09
F007	Prensa-02	2025-07-07 13:00	7,17	2025-07-07 20:10	20,34
F019	Granalladora-03	2025-07-07 18:00	2,88	2025-07-07 20:52	18,04
F005	Compresor-04	2025-07-08 15:00	3,69	2025-07-08 18:41	14,13
F018	Granalladora-03	2025-07-13 12:00	9,03	2025-07-13 21:01	21,57
F009	Compresor-04	2025-07-18 09:00	7,44	2025-07-18 16:26	17,34
F004	Autoclave-01	2025-07-18 11:00	5,51	2025-07-18 16:30	11,92
F015	Prensa-02	2025-07-18 19:00	6,05	2025-07-19 01:03	22,45
F013	Compresor-04	2025-07-21 13:00	6,73	2025-07-21 19:43	21,2
F002	Autoclave-01	2025-07-22 19:00	6,5	2025-07-23 01:29	16,93
F011	Prensa-02	2025-07-23 09:00	7,03	2025-07-23 16:02	18,82
F014	Granalladora-03	2025-07-23 18:00	4,77	2025-07-23 22:46	13,6
F006	Autoclave-01	2025-07-25 10:00	5,56	2025-07-25 15:33	14,54
F017	Granalladora-03	2025-07-27 08:00	6,05	2025-07-27 14:03	19,01
F010	Granalladora-03	2025-07-27 18:00	3,81	2025-07-27 21:48	12,61
F008	Granalladora-03	2025-07-28 13:00	3,84	2025-07-28 16:50	13,6
F016	Granalladora-03	2025-07-30 18:00	5,6	2025-07-30 23:35	15,39

Anexo 7:

Base de datos de órdenes de trabajo observadas para la determinación de la línea base de indicadores de desempeño del Poka-Yoke

OT / OF	Error en corte de planchas	Reproceso por adherencia	Tiempo de validación OT (Minutos)	¿Cumple?
OF-001-0002120	0	0	10,4	0
OF-001-0002121	0	0	9,3	0
OF-001-0002122	1	0	12,1	1
OF-001-0002123	0	0	12,5	1
OF-001-0002126	0	0	10,7	0
OF-001-0002127	0	0	11,6	0
OF-001-0002129	0	0	12,2	0
OF-001-0002130	1	0	15	1
OF-001-0002131	0	0	6,7	0
OF-001-0002132	0	0	12,2	1
OF-001-0002133	0	0	13,9	0
OF-001-0002134	0	0	11,8	0
OF-001-0002135	0	0	10	1
OF-001-0002136	0	0	13,1	1
OF-001-0002137	1	0	12,7	1
OF-001-0002138	0	0	12,5	1
OF-001-0002139	1	0	11,4	1
OF-001-0002141	1	0	15	0
OF-001-0002142	1	0	10,8	0
OF-001-0002144	0	0	15,5	0
OF-001-0002145	0	0	13,6	0
OF-001-0002146	0	0	10,3	1
OF-001-0002151	0	0	11,7	0
OF-001-0002153	0	0	15,7	0
OF-001-0002154	0	0	11,7	0
OF-001-0002155	0	0	12,4	1
OF-001-0002156	0	0	12,9	1
OF-001-0002157	0	0	11,9	1
OF-001-0002158	0	0	9,2	1
OF-001-0002159	1	0	17,1	0
OF-001-0002120	1	0	11,7	0
OF-001-0002121	0	1	12,4	1
OF-001-0002122	0	0	14,8	1
OF-001-0002123	0	0	11,5	0
OF-001-0002126	0	0	12	0
OF-001-0002127	0	0	16,5	0
OF-001-0002129	0	0	10,4	1

OF-001-0002130	0	0	12,5	0
OF-001-0002131	0	0	9,6	1
OF-001-0002132	0	0	10,5	0
OF-001-0002133	1	0	11	0
OF-001-0002134	0	0	10,2	1
OF-001-0002135	0	0	9,7	1
OF-001-0002136	0	0	14,3	1
OF-001-0002137	0	0	13	1
OF-001-0002138	0	0	11,4	0
OF-001-0002139	0	0	11,5	1
OF-001-0002141	0	1	11,5	0
OF-001-0002142	0	0	10,4	0
OF-001-0002144	0	0	8,1	1

Anexo 8:

Cálculo de beneficios económicos de la propuesta de mejora

Concepto	Valor utilizado	Fuente/Referencia	Cálculo	Resultado
Total de órdenes anuales	183	Registro histórico de producción (2024)	–	–
% de incumplimiento de entregas	43.84%	Diagnóstico inicial (Cap. III, Tabla 7)	$183 \times 43.84\%$	80 órdenes retrasadas
Costo unitario por retraso	S/ 1,000	Estimación promedio: almacenaje, reclamos y penalidades	$80 \times 1,000$	S/ 82,500
Nº de reprocesos	10 unidades	Observación directa en 50 OT (Cap. IV, Tabla 46)	10×250	S/ 2,500
Costo unitario por reproceso	S/ 250	Estimación: materiales + mano de obra extra	–	–
Costo total de problemáticas	–	–	$82,500 + 2,500$	S/ 85,000