

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA INDUSTRIAL**

“PROPUESTA DE MEJORA BASADO EN LEAN
MANUFACTURING PARA REDUCIR COSTOS DE
PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA INVERSIONES
NEPOLO E.I.R.L., TRUJILLO - 2023”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniera Industrial

Autoras:

Cinthia Diana Farroñan Herrera de Aquino

Sharon Elizabeth Rodriguez Gonzalez

Asesor:

Mg. Oscar Alberto Goicochea Ramírez

<https://orcid.org/0000-0002-0657-4596>

Trujillo - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Ing. Rafael Luis Alberto Castillo Cabrera	45236444
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Ing. Enrique Martin Avendaño Delgado	18087740
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Ing. Víctor Fernando Calla Delgado	18130765
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

RODRIGUEZ FARROÑAN

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	1%

Excluir citas Activo
Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 1%

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida y no dejarme solo en ninguna etapa, por permanecer siempre fiel y darme paz en medio de cualquier situación de conflicto.

A mis padres, por su apoyo incondicional, por todas las palabras sabias, por todo el esfuerzo que hacen día a día para que yo pueda culminar esta etapa profesional.

Cinthia Diana Farroñan Herrera

Esta tesis está dedicada a mis padres: porque me inspiran todos los días, porque me ayudaron a ser profesional, porque representan el equilibrio perfecto en mi vida, porque dejaron todo para apostar por mí y porque son mis héroes de toda la vida.

Sharon Elizabeth Rodríguez Gonzalez

AGRADECIMIENTO

A mi familia, por su paciencia y apoyo, por comprenderme y tratar de ayudarme de una u otra manera durante este proceso.

Cinthia Diana Farroñan Herrera

Agradezco a Dios por la vida, a mis padres por su apoyo incondicional, a mi familia por su cariño, a mis amigos cercanos por su fraternidad, a mis profesores por sus grandes enseñanzas.

Sharon Elizabeth Rodríguez Gonzalez

ÍNDICE DE CONTENIDOS

JURADO EVALUADOR	ii
INFORME DE SIMILITUD	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Realidad Problemática.....	13
1.2. Antecedentes	18
1.3. Bases Teóricas.....	21
1.4. Formulación del problema	24
1.5. Objetivos	24
1.5.1. Objetivo General	24
1.5.2. Objetivos Específicos.....	25
1.6. Hipótesis.....	25
1.7. Justificación.....	25
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	27
2.1. Tipo de investigación	27
2.2. Población y muestras.....	27

2.3.	Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	27
2.4.	Procedimiento.....	28
2.5.	Matriz de operacionalización de variables	29
CAPÍTULO III. RESULTADOS		30
3.1.	Diagnóstico de las áreas problemáticas.....	30
3.2.	Monetización absentismo laboral - Producción	33
3.3.	Monetización elevado tiempo de preparación de maquinarias - Producción.....	34
3.4.	Monetización de sobreproducción - Producción.....	35
3.5.	Monetización de los errores de planificación - Producción	36
3.6.	Monetización del desorden en las estaciones de trabajo - Producción	37
3.7.	Monetización de desorganización de la información - Producción	38
3.8.	Monetización de errores en trabajos de mantenimiento - Mantenimiento	39
3.9.	Monetización de paradas por averías - Mantenimiento	40
3.10.	Monetización de demoras en los trabajos de mantenimiento - Mantenimiento.....	41
3.11.	Monetización errores en los trabajos de mantenimiento - Mantenimiento	42
3.12.	Monetización de malas condiciones de trabajo - Mantenimiento	43
3.13.	Monetización de errores de montaje de maquinaria - Mantenimiento.....	44
3.14.	Priorización de pérdidas económicas	45
3.15.	Matriz de indicadores de causa raíz	47
3.16.	Diseño de Kanban	49
3.17.	Diseño de Mantenimiento Planificado (Keikaku Hozen)	54

3.18. Diseño de Poka Yoke	59
3.19. Evaluación económica y financiera de la propuesta de mejora	65
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	71
4.1. Discusión.....	71
4.2. Conclusiones	74
REFERENCIAS	76
ANEXOS	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Producción y comercio de productos metalmecánicos (Millones de euros)	14
Tabla 2	Metodología empleada para la presente investigación	28
Tabla 3	Matriz de operacionalización de variables	29
Tabla 4	Costeo de horas de absentismo laboral - Área de producción	33
Tabla 5	Costeo de horas de preparación de máquinas - Área de producción	34
Tabla 6	Costeo de sobreproducción - Área de producción	35
Tabla 7	Costeo de horas improductivas por falta de planificación - Área de producción	36
Tabla 8	Costeo horas improductivas por falta de orden y limpieza - Área de producción	37
Tabla 9	Costeo horas improductivas por desorganización de la información	38
Tabla 10	Costo horas improductivas por errores en trabajos de mantenimiento	39
Tabla 11	Costeo horas improductivas por paradas por averías	40
Tabla 12	Costeo de horas improductivas por demoras en trabajos de mantenimiento	41
Tabla 13	Costeo de horas improductivas por falta de planificación de mantenimiento	42
Tabla 14	Costeo de horas improductivas por malas condiciones de trabajo	43
Tabla 15	Monetización de efecto 6 - Área de mantenimiento	44
Tabla 16	Priorización de pérdidas económicas - Área de Producción	45
Tabla 17	Priorización de pérdidas económicas - Área de Mantenimiento	46
Tabla 18	Matriz de indicadores - Área de Producción	47
Tabla 19	Matriz de indicadores - Área de Mantenimiento	48
Tabla 20	Incidencias de los tipos de errores en el montaje de maquinaria	60

Tabla 21 Descripción y análisis de los principales errores de montaje	61
Tabla 22 Resumen de inversiones y beneficios	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Costos y sobrecostos de producción mensual – Año 2022	16
Figura 2	Índice de productividad mensual - Año 2022	17
Figura 3	Casa del sistema de producción Toyota	21
Figura 4	Etapas de implementación de SMED	24
Figura 5	Procedimiento de implementación de Poka Yoke	23
Figura 6	Diagrama de Ishikawa del área de Producción	31
Figura 7	Diagrama de Ishikawa del área de mantenimiento	32
Figura 8	Pareto de efectos - Área de producción	45
Figura 9	Pareto de efectos - Área de mantenimiento	46
Figura 10	Procedimiento para implementar Kanban	49
Figura 11	Procedimiento de implantación de Mantenimiento Planificado	54
Figura 12	Procedimiento para la implementación de Poka Yoke	59
Figura 13	Diagrama de Pareto de los tipos de errores en el montaje de maquinaria	60
Figura 14	Formato empleado para realizar el análisis económico	70

RESUMEN

El trabajo de investigación fue realizado con el propósito de determinar el impacto de la propuesta de mejora mediante la aplicación de herramientas Lean Manufacturing en las áreas de producción y mantenimiento, sobre los costos de la empresa Inversiones Nepolo E.I.R.L.; con el supuesto de que los costos se reducirán. La presente investigación por su diseño es diagnóstica y propositiva. En la primera etapa diagnosticó la situación problemática en las áreas de producción y mantenimiento calculándose una pérdida monetaria anual de S/. 119,321.70. Las herramientas que propone el estudio para eliminar los despilfarros en el área de producción fueron: Kanban y SMED; mientras que para el área de mantenimiento se seleccionaron: Poka Yoke y Mantenimiento planificado, con la implementación de estas herramientas se redujeron hasta en un 53,45% de los despilfarros. La evaluación económica de la propuesta de mejora a través de los principales indicadores como; VAN de S/.40,891.07, el TIR 32.25% y B/C de 1.20, evidencian que la implementación de las herramientas es factible y rentable para la empresa. Finalmente, la conclusión de la propuesta de mejora contribuye a la reducción de los costos de la empresa.

Palabras claves: SMED, Kanban, Poka Yoke, Mantenimiento Planificado

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

El área de la metalurgia y la maquinaria tiene un enorme potencial para impulsar el crecimiento, es decir, generar riqueza, bienestar y puestos de trabajo. Se ha convertido en una de las principales industrias en todo el mundo. Dado su amplio alcance y presencia, la industria de la metalurgia y la maquinaria es clave en la cadena productiva de cualquier país. El valor de los productos tecnológicos no se limita a su contenido, sino que también se relaciona con su integración en diversos sectores industriales. La mayoría de los países industrializados tienen sectores de metal mecánico, desde las grandes potencias hasta los países en desarrollo que trabajan arduamente para ser competitivos y productivos en esta área (AFM, 2018).

Según las últimas estimaciones, Japón se sitúa en el primer puesto del ranking global de producción de herramientas y maquinaria, con un valor total de 10.542,8 millones de euros, lo que equivale al 20,3% del total a nivel mundial. Por detrás, le siguen Alemania con un 17,9%, y China e Italia con un 14% y un 10%, respectivamente. España ocupa la novena posición en la lista de países que producen máquinas y herramientas, con un valor global de 1.047,5 millones de euros, lo cual equivale al 2% del total a nivel mundial. Además, cuenta con una balanza comercial en terreno positivo.

En todo el país, la producción industrial logró S/. 64,939 millones de soles en el 2022, lo cual significó una disminución del -1,7% en comparación con el año anterior debido a la reducida solicitud de materiales (pasta de madera, cemento, artículos refractarios, hormigón y yeso) por parte de la industria de la construcción.

El ámbito de la Metalurgia y la Mecánica es reconocido a nivel mundial como una industria avanzada debido a su gran capacidad de generar empleo altamente capacitado, arrastrando otros sectores y teniendo un efecto multiplicador importante. Sus procesos están caracterizados por ser altamente tecnológicos y complejos, lo que contribuye a la modernización de la economía.

Tabla 1

Producción y comercio de productos metalmeccánicos (Millones de euros)

País	Producción (Millones de euros)			Comercio (Millones de euros)	
	Total	Arranque	Deformación	Exportación	Información
Japón	10542.7	9277.6	1265.1	5554.8	573.7
Alemania	9288.6	7059.3	2229.3	6691.8	2696.7
China	7364.9	5229.1	2135.8	11679	5036.5
Italia	5308.6	2601.2	2707.4	3071.2	1453.2
Corea del Sur	3321.2	2258.4	1062.8	1313.9	1021.9
Taiwán	3195.6	2556.5	639.1	2487.6	2054.7
EE.UU.	2611.8	2063.3	548.5	1211.5	3104.8
Suiza	2426.1	2062.2	363.9	1793.8	304
España	1047.5	709.9	337.6	621.5	508.9
Brasil	845.1	684.5	160.6	108.9	593.9
Francia	794	508.2	285.8	524.4	913.9
Austria	747	448.2	298.8	535.6	368.8
Otros	4321.3	2366.1	1955.2	3531	9982.9
Total	51814.4	37824.5	13989.9	39125	28613.9

Fuente: Asociación de Empresas Privadas Metalmeccánicas del Perú

En 2022, el sector Metal Mecánico representó el 12.3% del total de la industria manufacturera, y contribuyó con el 1.3% del Producto Bruto Interno, según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) de Perú. La Asociación de Empresas Privadas Metalmeccánicas del país (AEPME) pronosticó que este sector alcanzaría una producción de más de 200,000 toneladas y ventas por encima de los US\$1,000 millones para el mismo año, debido al crecimiento de la economía nacional y el avance de los proyectos mineros y energéticos.

Es evidente en las figuras anteriores que la competencia a nivel mundial es feroz en el sector de la industria metalmecánica. Para destacar en este mercado, es fundamental tener costos competitivos, razón por la cual es crucial implementar técnicas y herramientas en todas las áreas de la empresa para disminuir gastos. Aunque siempre hay oportunidades en el mercado, la gran cantidad de empresas especializadas en este sector requiere que se mantenga la competitividad en cuanto a costos.

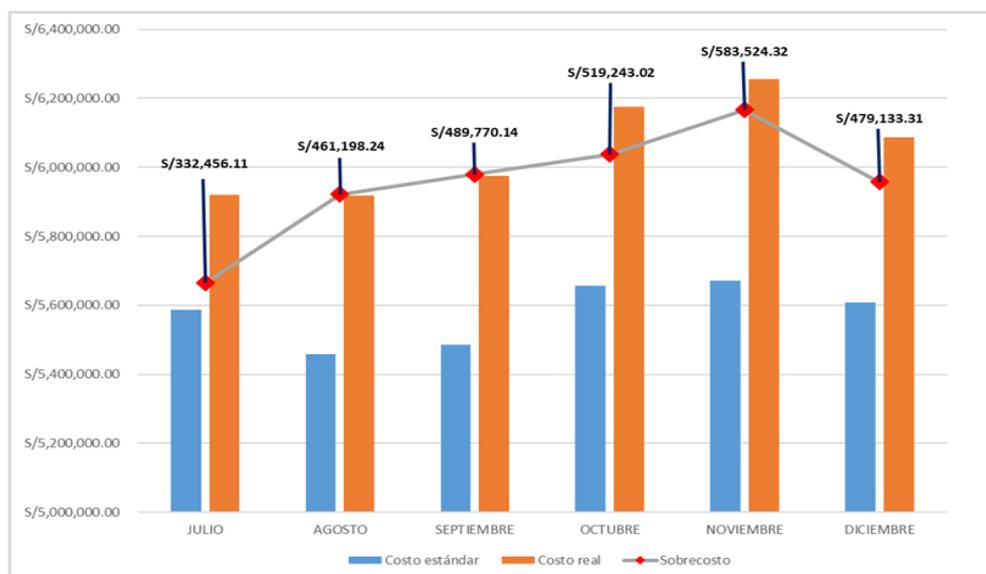
La clave para disminuir gastos en cualquier compañía que busque mejorar y optimizar sus procedimientos de fabricación radica en minimizar los derroches de tiempo derivados de cualquier tipo de imprevisto (Aguirre, 2018). Ante esta situación, surgen preguntas relevantes como ¿qué procedimientos, estrategias o dispositivos son efectivos para eliminar o reducir estas situaciones problemáticas? ¿cómo disminuir el desperdicio? ¿Será posible reducir los costos empresariales a través de la aplicación de técnicas y herramientas de gestión mejorada? El término Lean Manufacturing puede proporcionar respuestas a estas y otras cuestiones. Socconini (2021) lo describe como un procedimiento metódico y constante para detectar y eliminar el derroche o superfluo, definiendo como superfluo cualquier actividad que no aporte valor a un proceso, pero sí añade coste y trabajo. Además, Tejada (2018) subraya que el Lean Manufacturing requiere un esfuerzo constante e ininterrumpido para conseguir empresas más efectivas, innovadoras y eficientes.

Teniendo en cuenta esta información y volviendo al tema sobre la autenticidad de la industria local, en Trujillo hay más de 35 compañías de ingeniería mecánica y metalurgia que representan una gran competencia en el mercado. Por lo tanto, es necesario mejorar los procedimientos y las operaciones para ser más competitivos, eficientes y efectivos, especialmente considerando que surgen nuevas empresas cada día.

La compañía Inversiones Nepolo E.I.R.L. de Trujillo se dedica a la industria metal-mecánica y proporciona servicios de producción de piezas mecánicas y estructuras metálicas. Como tal, la empresa se enfrenta a los desafíos de satisfacer las demandas de sus clientes y competir en un mercado competitivo. En la actualidad, se evidencia que la compañía enfrenta múltiples complicaciones, tales como el incremento del valor de sus actividades, lo que conlleva a pérdidas en los departamentos de manufactura y conservación. Se calcula que, al término del año 2022, se ha requerido laborar un total acumulado de más de 125 horas-máquina adicionales por mes en todas las estaciones operativas de producción, con el propósito de atender todas las solicitudes laborales. Las horas extras tienen un impacto importante en los costos, como se puede deducir al analizar la evolución de los costos de producción mensuales en el segundo semestre de 2022 (observar Figura 1). El sobrecosto promedio generado, que asciende a S/. 477,554.19, es significativo en comparación con el costo presupuestado por la empresa y reduce tanto el margen de ganancias como la productividad.

Figura 1

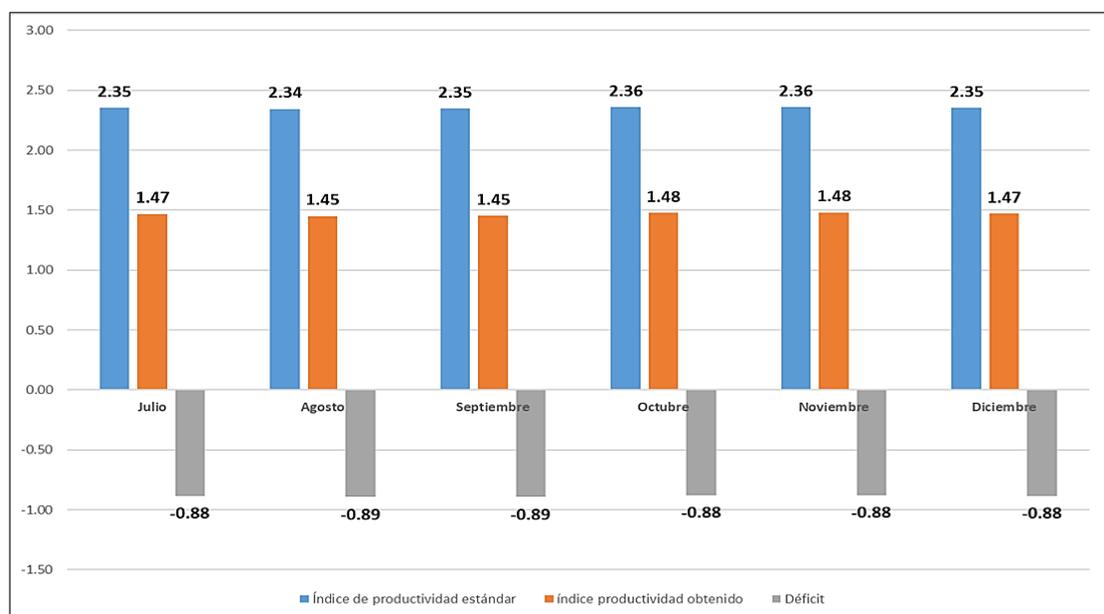
Costos y sobrecostos de producción mensual – Año 2022



Fuente: Inversiones Nepolo E.I.R.L

En otra perspectiva, tal como se había mencionado previamente, cuando se originan sobrecostos o pérdida de dinero, la eficiencia de producción decrece, como se señala en la Figura 2. De manera palpable, cuando se compara con la productividad estándar, se observa un déficit promedio de 0.89, lo que indica que se está obteniendo menos producción por cada unidad monetaria empleada en los costos de producción. Esto demuestra que hay dificultades en la gestión de la empresa que impiden el control de costes, y estos indicadores revelan el gran problema existente.

Figura 2
Índice de productividad mensual - Año 2022



Fuente: Inversiones Nepolo E.I.R.L.

Al tener conocimiento de la actual situación de la industria, en la que los competidores están ascendiendo en posiciones, es fundamental evitar conceder ventajas y, en su lugar, buscar soluciones para minimizar los costos de operación. Por lo tanto, es altamente relevante evaluar si una propuesta de mejora, que incluya la implementación de herramientas Lean Manufacturing en las áreas de producción y mantenimiento, resultará en una disminución de los costos para la compañía objeto de análisis.

1.2. Antecedentes

Internacional

El informe presentado por Uмба & Duarte (2021), titulado "Sugerencia para integrar las herramientas del Lean Manufacturing para acortar el tiempo de producción en la fábrica de Almojábanas El Goloso", tuvo como propósito reducir los tiempos de producción mediante la aplicación de técnicas del Lean Manufacturing. El análisis llevado a cabo permitió identificar que se estaban produciendo importantes pérdidas de tiempo debido a la variación de formatos, la falta de suministros oportunos y la falta de organización y limpieza. Para llevar a cabo este proceso, se emplearon las herramientas SMED y 5S. Como principal logro, se alcanzó una disminución del 40% en los tiempos de pérdida y una reducción del 35% en los costos de producción. Los expertos llegaron a la conclusión de que la incorporación de las herramientas de Lean Manufacturing tuvo un impacto positivo tanto en la calidad como en la cantidad, al reducir los costos de producción innecesarios. La metodología de aplicación de las técnicas SMED y 5S se seleccionó para esta investigación debido a su eficacia y practicidad.

En su investigación "Propuesta de mejoramiento del sistema productivo en la empresa de confecciones Mercy empleando herramientas de Lean Manufacturing", Gacharná & González (2019) presentan una metodología específica para identificar los desperdicios que ocurren en el proceso productivo y los relacionan con las herramientas utilizadas a través de un Mapa de Flujo de Valor (VSM). Esta investigación utilizó varias herramientas, como 5S, SMED, TPM, KAIZEN, VSM y POKA YOKE, y se recopilaron datos mediante formatos de incidencias planteadas. Los autores concluyen que la aplicación de herramientas de Lean Manufacturing puede lograr ahorros significativos en los costos de fabricación del 30%. Este estudio es

importante porque describe detalladamente el proceso de implementación de herramientas de Lean Manufacturing, comparando la situación previa con la situación mejorada, y desarrollando elementos específicos en el proyecto.

Nacional

En su investigación titulada "Aplicación de herramientas de Lean Manufacturing en las líneas de envasado de una planta envasadora de lubricantes", Palomino (2019) buscó mejorar la eficiencia de las líneas de envasado de una planta de fabricación de lubricantes, aplicando las herramientas SMED, 5S y JIT. Cada una de estas herramientas logró una reducción del 73%, 27% y 80% en los tiempos respectivos a los que se aplicaron. El estudio concluyó que se logró una mejora del 20% en el indicador OEE, así como un ahorro de horas hombre, una mayor capacidad productiva, mejor tiempo de respuesta y cumplimiento de entregas, mayores ventas y mejor rentabilidad. Esta investigación presenta un aporte significativo al demostrar cómo las herramientas de Lean Manufacturing pueden adaptarse a cualquier tipo de industria o proceso.

En su investigación titulada "Mejora de procesos en las áreas de mezclado y molienda de una empresa manufacturera de tubosistemas PVC y PEAD aplicando herramientas de calidad y Lean Manufacturing", Hualla & Cárdenas (2018) llevaron a cabo un análisis de la situación actual de la empresa para identificar sus principales problemas. Posteriormente, aplicaron herramientas lean como las 5S, SMED, TPM y Benchmarking, adaptadas a la realidad de la empresa para optimizar los procesos de mezclado compuesto y molienda de desperdicios, y reducir el inventario de desperdicios mediante el aumento de su consumo y la disminución de su generación.

Se determinó que la aplicación de las herramientas Lean logró estandarizar las actividades, aumentar la eficiencia, reducir los tiempos de inactividad y, como

resultado, disminuir el inventario de materiales desperdiciados de 323 toneladas en agosto de 2013 a 52 toneladas en julio de 2018. Además, la generación de materiales desperdiciados se redujo del 9% en agosto de 2013 al 5.7% en julio de 2015. Tomando en cuenta estos resultados, se emplearán las metodologías del diagnóstico como marco de referencia para nuestra propia investigación.

Local

Se ha descubierto el informe de Castro (2019) llamado "Propuesta de incorporación de la metodología Lean Manufacturing para mejorar el proceso productivo en la línea de envasado PET de la compañía Ajeper S.A.". Este informe aborda el uso de técnicas de Lean Manufacturing para mejorar los procesos productivos, la utilización de maquinaria y el personal, eliminando los residuos y los problemas presentes en el proceso para asegurar la competitividad de la empresa en el mercado de bebidas.

El proceso de diagnóstico permitió identificar cada área de mejora y, mediante un análisis de Pareto, se seleccionaron las herramientas más efectivas para abordar la mayoría de los problemas. Este conjunto de herramientas incluyó SMED, Mantenimiento Autónomo y OEE. Los investigadores concluyeron que para implementar las soluciones de mejora propuestas, es necesario el compromiso de toda la organización, desde la alta gerencia hasta el personal de línea. Este estudio se puede utilizar como antecedente para futuros diagnósticos destinados a identificar los principales desperdicios en procesos productivos.

1.4. Bases Teóricas

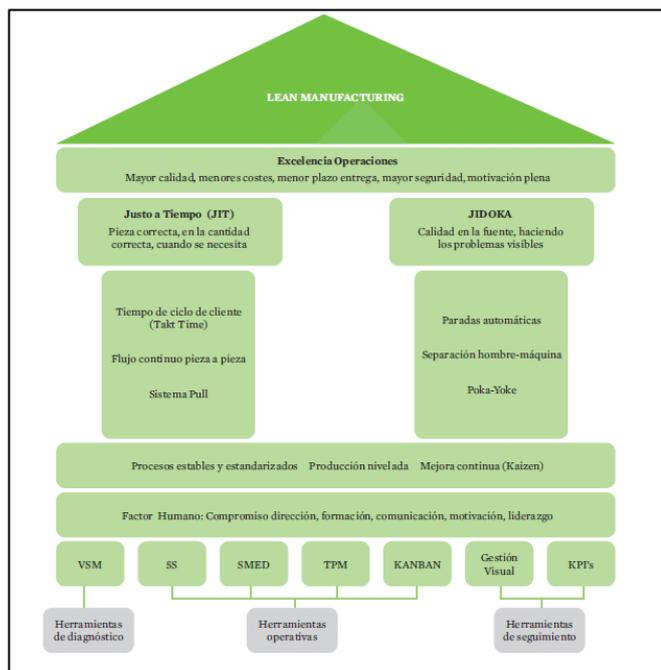
LEAN MANUFACTURING

De acuerdo con Socconini (2019), la metodología Lean Manufacturing se considera una táctica de producción que se compone de ciertas herramientas con el objetivo primordial de suprimir cualquier operación que no añada valor al resultado final del producto o servicio.

En otro orden de ideas, Hernández y Vizán (2019) sostienen que la Casa del Sistema de Producción Toyota es una herramienta convencional que permite comprender de manera rápida la filosofía subyacente al Lean Manufacturing y las técnicas que se pueden utilizar para su implementación. La forma de la casa representa la estructuralidad del sistema Lean, ya que su fortaleza descansa en los cimientos y columnas que, de estar en malas condiciones, debilitarían el sistema. La Figura 3 ilustra esta idea.

Figura 3

Casa del sistema de producción Toyota



Fuente: Hernández, J., & Vizán, A. (2019)

Mantenimiento Planificado (KEIKAKU HOZEN)

Según la definición de Tokutaro en 1921, el TPM se basa en la implementación de actividades estructuradas con el objetivo de mantener el equipo y el proceso en óptimas condiciones, al mismo tiempo que se busca la eficacia y la eficiencia de los costos. Por otro lado, Arbós y Martínez en 2021 lo definen como un método progresivo de mantenimiento que es esencial para obtener beneficios en una organización industrial. El propósito de este pilar es avanzar gradualmente hacia la meta de cero averías en una planta industrial.

El enfoque del mantenimiento planificado, como fundamento del TPM, difiere significativamente del enfoque convencional del mantenimiento preventivo, ofreciendo una metodología estratégica de mejora que se basa en actividades dirigidas a prevenir y corregir averías en equipos e instalaciones mediante la aplicación de rutinas diarias, periódicas y predictivas.

POKA YOKE

Según la definición de Madariaga (2021), el Poka Yoke es una técnica de calidad que se utiliza para prevenir errores en el funcionamiento de un sistema, lo cual sugiere que su objetivo es impedir de alguna manera los errores humanos y, en caso de que esto no sea posible, resaltarlos de forma evidente para que el responsable pueda corregirlos de manera rápida. Según Carreras (2010), un mecanismo que previene la manifestación de fallas a partir de errores humanos en los procesos es denominado como tal. Su beneficio principal radica en la capacidad de inspeccionar la totalidad de las unidades del proceso, lo que permite la retroalimentación y la implementación de acciones de manera inmediata. Dependiendo de la naturaleza del mecanismo, es posible que este pueda generar una medida correctiva. La supresión de imperfecciones a través de la utilización de Poka-yokes es un componente esencial del Lean

Manufacturing, dado que para esta doctrina es de suma relevancia que ninguna tarea genere productos imperfectos para la tarea subsiguiente, en virtud de que esto afectaría la continuidad fluida del procedimiento.

Figura 4

Procedimiento de implementación de Poka Yoke



Fuente: Carreras (2010)

SMED

Según la definición de Shingo (2021), SMED se refiere a un conjunto de ideas y métodos que posibilitan llevar a cabo de manera rápida las labores de preparación de maquinarias o modificaciones de formatos en menos de diez minutos. El autor también aclara que en sus orígenes, el propósito del SMED era exclusivamente mejorar las tareas de preparación y montaje en la producción de prensas, pero con el paso del tiempo, se ha extendido a todo tipo de maquinarias y procesos en general.

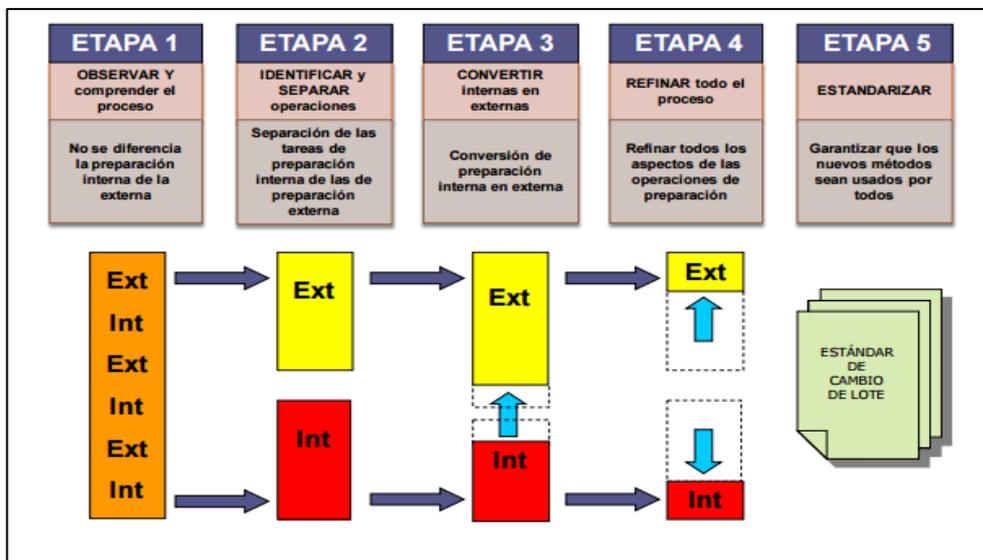
Hernández y Vizán (2019) amplían la noción de SMED al señalar que los ajustes que se efectúan en esta técnica involucran la supresión de ajustes y la normalización de las operaciones a través de la implementación de nuevos dispositivos

de alimentación, extracción, ajuste y centrado rápido, tales como las plantillas y los anclajes funcionales.

En conclusión, según lo mencionado por los escritores mencionados, el método SMED se emplea para disminuir rápidamente los tiempos de preparación o de cambio, lo que permite una mayor disponibilidad para las tareas y una producción más flexible. La metodología de desarrollo de SMED se presenta en la Figura 5.

Figura 5

Etapas de implementación de SMED



Fuente: Shingo (2001)

1.5. Formulación del problema

¿Cuál es el impacto de la propuesta de mejora basado en Lean Manufacturing sobre los costos de producción de la empresa Inversiones Nepolo E.I.R.L., Trujillo - 2023?

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Determinar el impacto de la propuesta de mejora basado en Lean Manufacturing sobre los costos de producción de la empresa Inversiones Nepolo E.I.R.L., Trujillo – 2023.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación problemática de las áreas de producción y mantenimiento.
- Cuantificar las pérdidas monetarias en las áreas de producción y mantenimiento.
- Desarrollar la propuesta de mejora mediante la aplicación de herramientas de Lean Manufacturing en las áreas de producción y mantenimiento.
- Evaluar la viabilidad económica de la propuesta de mejora en las áreas de producción y mantenimiento.

1.7. Hipótesis

La propuesta de mejora basado en Lean Manufacturing reduce costos de producción en la empresa Inversiones Nepolo E.I.R.L., Trujillo – 2023.

1.8. Justificación

La investigación que se lleva a cabo tiene su justificación en el hecho de que contribuye al conocimiento previo acerca de la metodología de Lean Manufacturing. Esto se logra a través del uso de sus principales técnicas y herramientas para disminuir los costos de producción. Los resultados obtenidos podrán ser sistematizados en una propuesta de mejora que pueda ser incorporada como conocimiento en el ámbito de la Ingeniería Industrial. Con ello se demuestra que el empleo de estas herramientas tiene un impacto significativo sobre los costos de fabricación de las empresas.

En la actualidad, la compañía Inversiones Nepolo E.I.R.L. enfrenta dificultades en su proceso productivo, lo cual tiene un impacto negativo en su gestión de costos. Por esta razón, se está llevando a cabo una investigación exhaustiva para identificar las causas principales de este problema. El objetivo principal de esta

solución es reducir las pérdidas económicas, mejorar los indicadores y aumentar la productividad, lo que dará como resultado una disminución de los costos.

La indagación presenta un conjunto de pautas que posibilitan el direccionamiento del progreso de cualquier procedimiento orientado a concebir soluciones de derroche en la manufactura, mejoras de eficiencia en el tiempo de producción y rentabilidad, tomando en consideración el tipo y diseño del estudio, herramientas de recolección de información y los procedimientos de evaluación de los resultados.

La importancia académica de esta investigación radica en la aplicación de conocimientos específicos adquiridos durante la carrera profesional en un contexto real. Su objetivo es ayudar a futuras generaciones de estudiantes al proporcionar información accesible sobre proyectos que requieren habilidades propias de la carrera en cuestión.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Por la orientación: investigación aplicada porque tiene como objetivo resolver problemas prácticos o mejorar la calidad de la vida real a través de la aplicación de conocimientos y técnicas científicas.

Por el diseño: diagnóstica y propositiva, porque se busca identificar y analizar los problemas o situaciones presentes en una determinada área o contexto, y proponer soluciones o alternativas para su mejora o resolución.

2.2. Población y muestras

Población: todos los procesos de la empresa Inversiones Nepolo E.I.R.L.

Muestras: procesos de las áreas de producción y mantenimiento de la empresa Inversiones Nepolo E.I.R.L.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Técnicas de obtención de datos

La observación es una técnica sumamente valiosa para llevar adelante proyectos de investigación, ya que implica la contemplación atenta de las personas mientras realizan sus tareas. Su objetivo es amplio y multifacético, permitiendo al analista determinar los detalles de la actividad, tales como qué se está haciendo, cómo se lleva a cabo, quién es el responsable, cuándo se realiza, cuánto tiempo toma, dónde tiene lugar y, por último, cuál es la finalidad de la acción observada.

El diagrama de flujo y de operaciones es una representación gráfica de los procedimientos involucrados en un proceso determinado. Esta herramienta resulta de

gran ayuda al momento de analizar la eficacia del proceso y cómo este puede llevar a la obtención de un resultado específico.

Instrumentos

Las hojas de observación son herramientas que posibilitan la anotación y descripción del entorno percibido y los desafíos reales que se presentan en la organización.

2.4. Procedimiento

La estrategia determinada para el estudio actual se encuentra fragmentada en tres fases, tal como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 2

Metodología empleada para la presente investigación

ETAPA	PROCEDIMIENTO
Diagnóstico	En el comienzo de este proceso, el objetivo es reconocer los gastos innecesarios más importantes que surgen en las zonas analizadas. Después, se medirán las pérdidas y se estimarán los costos de las causas fundamentales que provocan el asunto investigado. Con esto, se podrá determinar las herramientas de mejora necesarias.
Desarrollo de la propuesta de mejora	Durante esta fase, se persigue la creación y elaboración de las estrategias y prácticas de las herramientas de potenciación elegidas, así como la determinación de los logros principales conseguidos.
Análisis económico financiero	Durante la fase final, se realiza una estimación del costo, se determina el tiempo de evaluación y se establece una tasa de evaluación para el proyecto. Con estos datos se puede llevar a cabo un análisis económico, donde se calcularán los principales indicadores (VAN, TIR y RBC) que permitirán determinar la viabilidad económica del proyecto.

Fuente: Elaboración propia

2.5. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 3

Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Costos de producción	Se alude al coste económico de los desembolsos de los elementos básicos, herramientas, abastecimientos, prestaciones, fuerza laboral, bienes, entre otros, que se emplean en el desarrollo del artículo o prestación.	Variación porcentual de costos de producción	$\%Cp = \frac{ \text{Costos de prod. actuales} - \text{Costos de prod. mejorados} }{\text{Costos de prod. actuales}}$
Lean Manufacturing	Elaboración de un esquema de administración que se centra en reducir los perjuicios identificados en la compañía, al mismo tiempo que optimiza la generación de beneficios para el consumidor definitivo, mediante acciones de valor agregado.	Kanban	$\text{Wip to Swip} = \frac{\text{Unidades de productos en proceso}}{\text{Inventario estándar de producción}}$
		SMED	$T_c = \frac{\sum \text{Tiempos de preparación de maquinaria}}{\text{Total de número de preparaciones}}$
		Mantenimiento Planificado	$T_m = \sum \frac{\text{Tiempos de paradas por limpiezas no programadas}}{\text{en cada línea de producción}}$
		Poka Yoke	$E_m = \frac{N^\circ \text{ incidencias de errores en trabajos de mantenimiento}}{\text{Total de trabajos de mantenimiento realizados}} \times 100\%$

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Diagnóstico de las áreas problemáticas

El diagnóstico parte de un enfoque cualitativo, donde se busca mediante Diagramas de Ishikawas (ver Figuras 6 y 7), identificar los principales efectos y causas raíz que generan el problema general.

En el área de producción se tienen los siguientes efectos: baja productividad de mano de obra, elevado tiempo de preparación de maquinarias, sobreproducción de estructuras de carrocería, errores de planificación, desorden en las estaciones de trabajo y desorganización de la información. Y las causas raíz identificadas que generan cada efecto respectivamente son: absentismo laboral, falta de un método estandarizado para la preparación de maquinaria, falta de un sistema de control de la producción, falta de indicadores de gestión, falta de orden y limpieza y falta de documentación de las órdenes de trabajo.

Por otro lado, en el área de mantenimiento los principales efectos identificados fueron: errores en los trabajos de mantenimiento, paradas por averías de maquinaria, demoras en los trabajos de mantenimiento, errores de planificación, malas condiciones de trabajo y demoras para comenzar los trabajos con maquinaria. Y las causas raíz identificadas que generan cada efecto respectivamente son: falta de capacitación, falta de mantenimiento preventivo, falta de herramientas sofisticadas para mantenimiento, falta de indicadores de gestión, falta de luminosidad en las áreas de trabajo y falta de dispositivos para prevenir o detectar errores en montajes.

El siguiente paso consistirá en realizar la parte cuantitativa del diagnóstico, que consistirá en monetizar las pérdidas generadas, considerando costo de mano de obra, costo de materiales directos y costos indirectos de fabricación.

Figura 6

Diagrama de Ishikawa del área de Producción

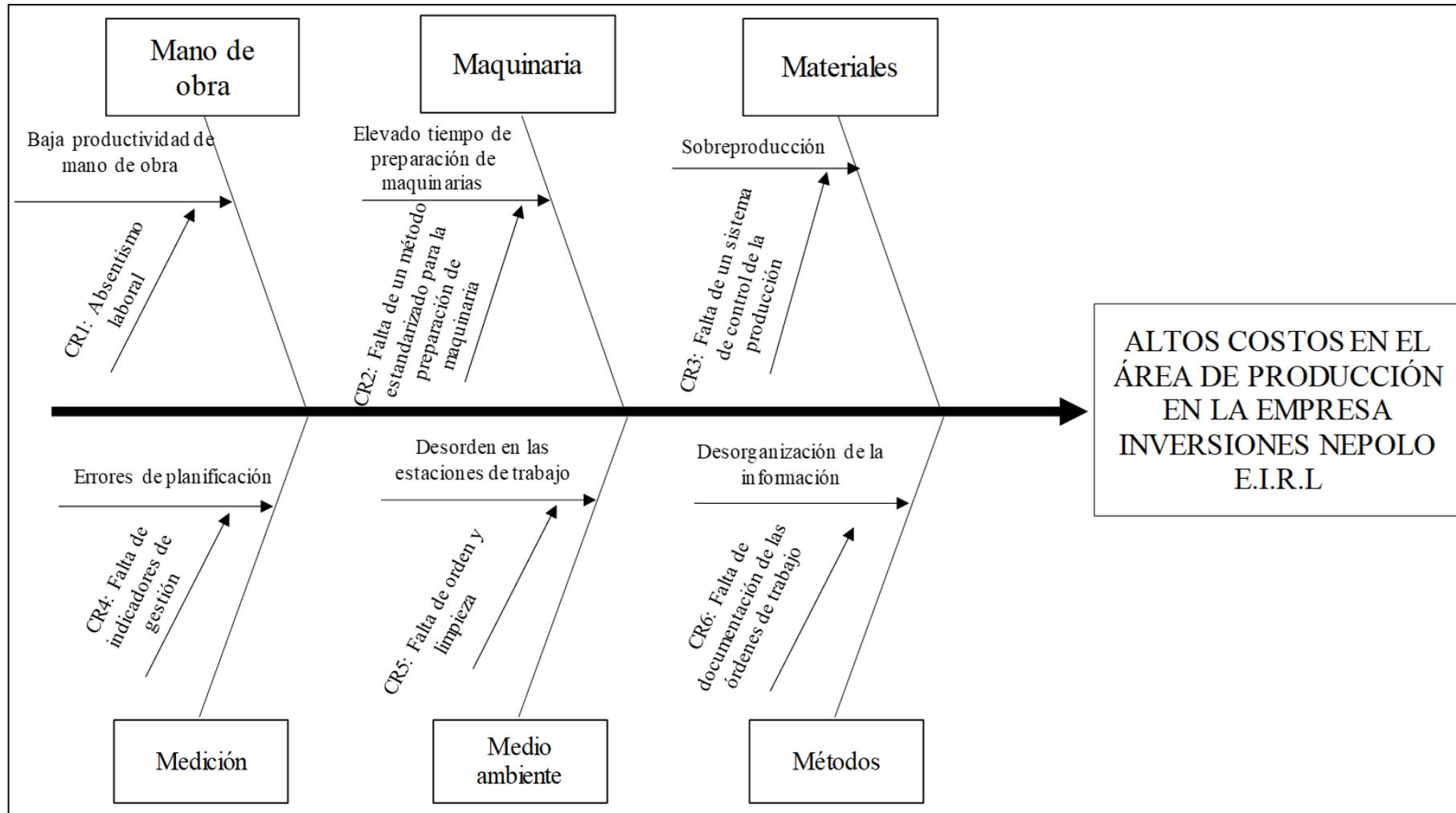
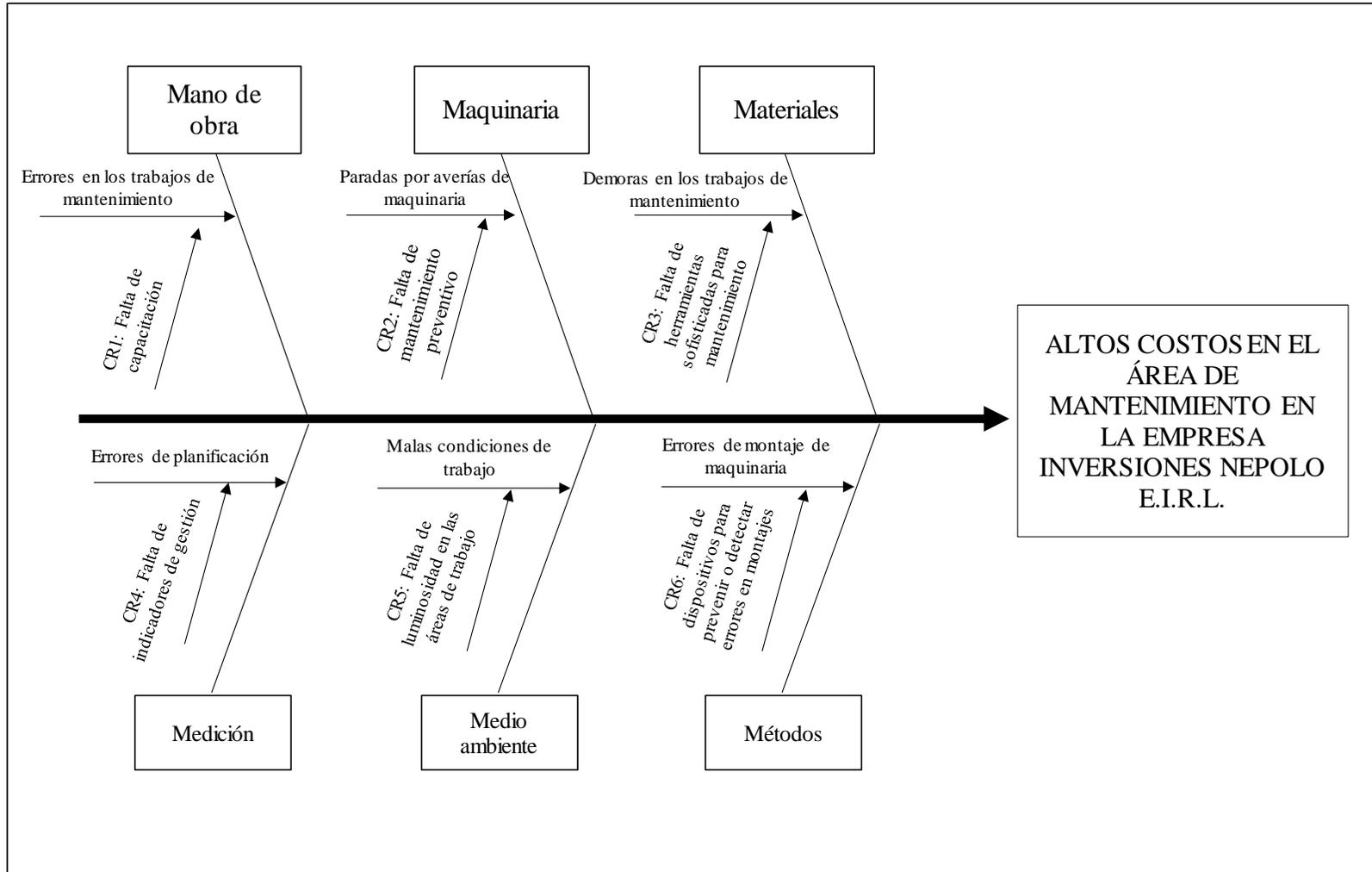


Figura 7

Diagrama de Ishikawa del área de mantenimiento



3.2. Monetización absentismo laboral - Producción

El primer efecto identificado en el área de producción es la baja productividad, la causa raíz que genera este efecto son las horas de absentismo laboral, es decir la ausencia del personal en sus estaciones de trabajo. En la Tabla 4 se muestra la pérdida monetizada calculada, mientras que la fórmula del cálculo se muestra a continuación:

$$MONETIZACIÓN PÉRDIDA = H.A. * (C.M.O.D. + C.I.F. + C.H.E.M.O)$$

H.A. = Horas de absentismo laboral

C.M.O.D. = Costo por hora de mano de obra directa

C.I.F. = Costos indirectos de fabricación por hora

C.H.E.M.O. = Costos de horas extras de mano de obra

Tabla 4

Costeo de horas de absentismo laboral - Área de producción

Mes	Horas de absentismo laboral	Costo de mano de obra directa (S/)	Costos indirectos de fabricación (S/)	Costo de horas extras (S/)	Pérdida monetaria (S/)
Enero	40.23	179.87	279.16	224.84	683.88
Febrero	40.35	180.41	279.99	225.51	685.92
Marzo	35.94	160.25	248.70	200.31	609.25
Abril	56.24	251.46	390.26	314.32	956.03
Mayo	23.54	105.25	163.35	131.56	400.16
Junio	35.45	158.50	245.99	198.13	602.62
Julio	23.54	105.25	163.35	131.56	400.16
Agosto	40.53	181.22	281.24	226.52	688.98
Septiembre	41.69	186.40	289.29	233.00	708.70
Octubre	43.56	194.76	302.27	243.45	740.49
Noviembre	39.87	178.26	276.66	222.83	677.76
Diciembre	45.69	204.29	317.05	255.36	776.69
Total	466.53	2,085.93	3,237.30	2,607.41	7,930.64

3.3. Monetización elevado tiempo de preparación de maquinarias - Producción

El segundo efecto identificado es el elevado tiempo de preparación de maquinarias y la causa raíz que origina este efecto es la Falta de un método estandarizado para la preparación de maquinaria.

Todos los días se realizan preparación de maquinaria, para poder comenzar la producción, el problema pasa cuando el tiempo de preparación se prolonga demasiado y retrasa el inicio de labores, evidentemente este tiempo genera pérdidas monetarias.

Para calcular esta pérdida se multiplica las horas de preparación de maquinaria por el costo por hora de fabricación. A continuación, se muestra la fórmula empleada y en la

Tabla 5 se muestra los resultados obtenidos.

$$MONETIZACIÓN PÉRDIDA = H.M. * (C.M.O.D. + C.I.F. + C.H.E.M.O)$$

H.M. = Horas de preparación de maquinaria

C.M.O.D. = Costo por hora de mano de obra directa

C.I.F. = Costos indirectos de fabricación por hora

C.H.E.M.O. = Costos de horas extras de mano de obra

Tabla 5

Costeo de horas de preparación de máquinas - Área de producción

Mes	Horas de preparación de maquinaria	Costo de mano de obra directa (S/)	Costos indirectos de fabricación (S/)	Costo de horas extras (S/)	Pérdida monetaria (S/)
Enero	40.23	539.62	837.48	674.53	2,051.63
Febrero	40.35	541.23	839.98	676.54	2,057.75
Marzo	35.84	480.74	746.09	600.92	1,827.75
Abril	56.24	754.37	1,170.77	942.97	2,868.10
Mayo	23.54	315.75	490.04	394.69	1,200.48
Junio	35.45	475.51	737.97	594.38	1,807.86
Julio	23.54	315.75	490.04	394.69	1,200.48
Agosto	40.53	543.65	843.73	679.56	2,066.93
Septiembre	41.69	559.21	867.87	699.01	2,126.09
Octubre	43.56	584.29	906.80	730.36	2,221.46
Noviembre	39.87	534.79	829.99	668.49	2,033.27
Diciembre	45.69	612.86	951.14	766.08	2,330.08
Total	466.53	6,257.78	9,711.90	7,822.23	23,791.91

3.4. Monetización de sobreproducción - Producción

El tercer efecto identificado es la sobreproducción y la causa raíz que origina este efecto es la falta de un sistema de control de la producción.

Mes a mes se producen un número de estructuras de carrocerías muy por encima de la demanda, terminado de rematar estas estructuras sobre producidas.

Para calcular esta pérdida se multiplica el número de estructuras de carrocerías sobreproducidas por el costo de fabricación de cada uno de estas. A continuación, se muestra la fórmula empleada y en la Tabla 6 se muestra los resultados obtenidos.

$$MONETIZACIÓN PÉRDIDA = S.P.* (C.M.O.D. + C.M.D. + C.I.F.)$$

S.P. = N° de estructura de carrocerías sobre producidas

C.M.O.D. = Costo de mano de obra directa perdida por carrocería (S/55.80)

C.M.D.= Costo de materiales directos perdido por carrocería (S/142.60)

C.I.F. = Costos indirectos de fabricación perdidos por carrocería (S/86.60)

Tabla 6

Costeo de sobreproducción - Área de producción

Mes	Número de estructuras sobre producidas (A)	Costos de materiales directos (S/)	Costo de mano de obra directa (S/)	Costos indirectos de fabricación (S/)	Pérdida monetaria (S/)
Enero	11	1,568.60	613.80	952.60	3,135.00
Febrero	12	1,711.20	669.60	1,039.20	3,420.00
Marzo	10	1,426.00	558.00	866.00	2,850.00
Abril	14	1,996.40	781.20	1,212.40	3,990.00
Mayo	15	2,139.00	837.00	1,299.00	4,275.00
Junio	11	1,568.60	613.80	952.60	3,135.00
Julio	12	1,711.20	669.60	1,039.20	3,420.00
Agosto	11	1,568.60	613.80	952.60	3,135.00
Septiembre	13	1,853.80	725.40	1,125.80	3,705.00
Octubre	14	1,996.40	781.20	1,212.40	3,990.00
Noviembre	15	2,139.00	837.00	1,299.00	4,275.00
Diciembre	12	1,711.20	669.60	1,039.20	3,420.00
Total	150	21,390.00	83,70.00	12,990.00	42,750.00

3.5. Monetización de los errores de planificación - Producción

El cuarto efecto identificado son los errores de planificación y la causa raíz que origina este efecto es la falta de Falta de indicadores de gestión.

Siempre se presentan horas de retraso por la falta de planificación, es decir las estaciones de trabajo se mantienen paradas, mientras los mandos intermedios de manera empírica terminando de concretar la planificación de las órdenes de producción.

Para calcular esta pérdida se multiplica el número de horas por el costo de hora de fabricación. A continuación, se muestra la fórmula empleada y en la Tabla 7 se muestra los resultados obtenidos.

$$MONETIZACIÓN PÉRDIDA = H.F.P. * (C.M.O.D. + C.I.F. + C.H.E.M.O)$$

H.F.P. = Horas improductivas por falta de planificación

C.M.O.D. = Costo por hora de mano de obra directa

C.I.F. = Costos indirectos de fabricación por hora

C.H.E.M.O. = Costos de horas extras de mano de obra

Tabla 7

Costeo de horas improductivas por falta de planificación - Área de producción

Mes	Horas improductivas por falta de planificación	Costo de mano de obra directa (S/)	Costos indirectos de fabricación (S/)	Costos de horas extras (S/)	Pérdida monetaria (S/)
Enero	6.61	88.65	137.58	110.81	337.05
Febrero	8.59	115.18	178.75	143.97	437.90
Marzo	6.26	83.97	130.32	104.96	319.25
Abril	13.66	183.27	284.43	229.09	6963.79
Mayo	0.28	3.71	5.75	4.63	14.09
Junio	4.17	55.95	86.83	69.94	212.71
Julio	1.84	24.72	38.36	30.90	93.98
Agosto	1.22	16.39	25.44	20.49	62.31
Septiembre	10.68	143.24	222.31	179.05	544.61
Octubre	5.92	79.44	123.29	99.31	302.04
Noviembre	13.56	181.86	282.24	227.33	691.43
Diciembre	8.94	119.90	186.08	149.87	455.85
Total	81.73	1,096.28	1,701.39	1,370.35	4,168.02

3.6. Monetización del desorden en las estaciones de trabajo - Producción

El quinto efecto identificado es el desorden en las estaciones de trabajo y la causa raíz que origina este efecto es la falta de orden y limpieza.

Se presentan ciertas ocasiones donde las estaciones de trabajos permanecen desordenadas, generando retrasos, porque hay que parar la producción para poder ordenar y limpiar, generando pérdidas por las horas improductivas generadas.

Para calcular esta pérdida se multiplica el número de horas por el costo de hora de fabricación. A continuación, se muestra la fórmula empleada y en la Tabla 8 se muestra los resultados obtenidos.

$$MONETIZACIÓN PÉRDIDA = H.F.O.* (C.M.O.D. + C.I.F. + C.H.E.M.O)$$

H.F.P. = Horas improductivas por falta de orden y limpieza

C.M.O.D. = Costo por hora de mano de obra directa

C.I.F. = Costos indirectos de fabricación por hora

C.H.E.M.O. = Costos de horas extras de mano de obra

Tabla 8

Costeo horas improductivas por falta de orden y limpieza - Área de producción

Mes	Horas improductivas por falta de orden y limpieza	Costo de mano de obra directa (S/)	Costos indirectos de fabricación (S/)	Costos de horas extras (S/)	Pérdida monetaria (S/)
Enero	0.28	3.75	5.82	4.69	14.27
Febrero	1.45	19.39	30.10	24.24	73.74
Marzo	9.06	121.53	188.62	151.92	462.07
Abril	9.48	127.12	197.28	158.90	483.29
Mayo	0.36	4.86	7.55	6.08	18.49
Junio	4.27	57.32	88.95	71.64	217.91
Julio	2.29	30.66	47.59	38.33	116.58
Agosto	1.63	21.81	33.85	27.27	82.93
Septiembre	9.93	133.19	206.71	166.49	506.39
Octubre	1.65	22.09	34.28	27.61	83.98
Noviembre	6.95	93.22	144.68	116.53	354.42
Diciembre	5.13	68.79	106.76	85.99	261.54
Total	52.47	703.75	1,092.19	879.68	2,675.62

3.7. Monetización de desorganización de la información - Producción

El sexto efecto identificado es la desorganización de la información y la causa raíz que origina este efecto es la falta de documentación de las órdenes de trabajo.

Se presentan ciertas ocasiones donde se retrasa la producción, porque no se encuentra la información requerida para comenzar con la producción, es decir la documentación de órdenes de fabricación no existe y por ende no hay registro que valide lo que se va a producir.

Para calcular esta pérdida se multiplica el número de horas por el costo de hora de fabricación. A continuación, se muestra la fórmula empleada y en la Tabla 9 se muestra los resultados obtenidos.

$$\text{MONETIZACIÓN PÉRDIDA} = \text{H.D.I.} * (\text{C.M.O.D.} + \text{C.I.F.} + \text{C.H.E.M.O.})$$

H.D.I. = Horas improductivas por desorganización de la información

C.M.O.D. = Costo por hora de mano de obra directa

C.I.F. = Costos indirectos de fabricación por hora

C.H.E.M.O. = Costos de horas extras de mano de obra

Tabla 9

Costeo horas improductivas por desorganización de la información

Mes	Horas improductivas por falta de orden y limpieza	Costo de mano de obra directa (S/)	Costos indirectos de fabricación (S/)	Costos de horas extras (S/)	Pérdida monetaria (S/)
Enero	2.15	28.84	44.76	36.05	109.64
Febrero	1.95	26.16	40.59	32.70	99.45
Marzo	1.35	18.11	28.10	22.64	68.85
Abril	1.55	20.79	32.27	25.99	79.05
Mayo	2.13	28.57	44.34	35.71	180.62
Junio	1.75	23.47	36.43	29.34	89.25
Julio	1.65	22.13	34.35	27.67	84.15
Agosto	3.10	41.58	64.53	51.98	158.09
Septiembre	1.58	21.19	32.89	26.49	80.58
Octubre	1.05	14.08	21.86	17.61	53.55
Noviembre	1.47	19.72	30.60	24.65	74.97
Diciembre	2.14	28.70	44.55	35.88	109.13
Total	21.87	293.35	455.27	366.69	1,115.32

3.8. Monetización de errores en trabajos de mantenimiento - Mantenimiento

El primer efecto identificado en el área de mantenimiento son los errores en los trabajos de mantenimiento, la causa raíz que genera este efecto es la falta de capacitación. Los trabajadores nuevos que entran les cuestan adaptarse a los procedimientos de mantenimiento, si bien es cierto que este efecto se presenta de manera muy poco frecuente, pero genera pérdidas monetarias. En la Tabla 10 se muestra la pérdida monetizada calculada, mientras que la fórmula del cálculo se muestra a continuación:

$$\text{MONETIZACIÓN PÉRDIDA} = \text{H.I.E.} * (\text{C.M.O.D.} + \text{C.I.F.} + \text{C.H.E.M.O.})$$

H.D.I. = Horas improductivas por errores en trabajos de mantenimiento

C.M.O.D. = Costo por hora de mano de obra directa

C.I.F. = Costos indirectos de fabricación por hora

C.H.E.M.O. = Costos de horas extras de mano de obra

Tabla 10

Costo horas improductivas por errores en trabajos de mantenimiento

Mes	Horas improductivas por errores en trabajos de mantenimiento	Costo de mano de obra directa (S/)	Costos indirectos de fabricación (S/)	Costos de horas extras (S/)	Pérdida monetaria (S/)
Enero	4.92	66.01	102.44	82.51	250.96
Febrero	2.01	27.03	41.95	33.78	102.76
Marzo	1.58	21.19	32.88	26.48	80.55
Abril	6.21	83.35	129.36	104.19	316.90
Mayo	7.37	98.84	153.39	123.55	375.78
Junio	4.76	63.90	99.17	79.88	242.95
Julio	10.85	145.51	225.83	181.89	553.22
Agosto	8.93	119.72	185.79	149.64	455.15
Septiembre	1.87	25.02	38.83	31.27	95.12
Octubre	10.15	136.11	211.24	170.13	517.48
Noviembre	2.63	35.23	54.67	44.04	133.94
Diciembre	8.63	115.80	179.71	144.75	440.26
Total	69.91	937.63	1,455.27	1,172.11	3,565.07

3.9. Monetización de paradas por averías - Mantenimiento

El segundo efecto identificado en el área de mantenimiento son las paradas por averías de maquinaria, la causa raíz que genera este efecto es la falta de mantenimiento preventivo. Actualmente la empresa solo aplica mantenimiento correctivo, pero no lo hace porque le resulta más económico, sino por la falta de gestión y organización de los trabajos de mantenimiento. En la Tabla 11 se muestra la pérdida monetizada calculada, mientras que la fórmula del cálculo se muestra a continuación:

$$MONETIZACIÓN PÉRDIDA = H.I.P.A.* (C.M.O.D. + C.I.F. + C.H.E.M.O)$$

H.D.I. = Horas improductivas por paradas por avería

C.M.O.D. = Costo por hora de mano de obra directa

C.I.F. = Costos indirectos de fabricación por hora

C.H.E.M.O. = Costos de horas extras de mano de obra

Tabla 11

Costeo horas improductivas por paradas por averías

Mes	Horas improductivas por paradas por averías	Costo de mano de obra directa (S/)	Costos indirectos de fabricación (S/)	Costos de horas extras (S/)	Pérdida monetaria (S/)
Enero	72.15	967.75	1,501.92	1,209.69	3,679.36
Febrero	55.90	749.82	1,163.70	937.27	2,850.79
Marzo	54.65	733.82	1,137.66	916.30	2,786.99
Abril	35.48	475.91	738.60	594.89	1,809.39
Mayo	72.16	967.90	1,502.16	1,209.88	3,679.93
Junio	41.87	561.59	871.57	701.99	2,135.15
Julio	42.32	567.66	880.99	709.57	2,158.22
Agosto	71.58	960.20	1,490.21	1,200.25	3,650.66
Septiembre	50.65	679.36	1,054.35	849.20	2,582.91
Octubre	48.01	644.01	999.49	805.02	2,448.52
Noviembre	65.63	880.29	1,366.18	1,100.36	3,346.83
Diciembre	29.87	400.66	621.81	500.83	1,523.30
Total	640.27	8,588.19	13,328.63	10,735.24	32,652.06

3.10. Monetización de demoras en los trabajos de mantenimiento - Mantenimiento

El tercer efecto identificado en el área de mantenimiento son las demoras en los trabajos de mantenimiento, la causa raíz que genera este efecto es la falta de herramientas sofisticadas para mantenimiento. Actualmente la empresa tiene herramientas obsoletas, esto dificulta la realización de los trabajos de mantenimiento.

En la Tabla 12 se muestra la pérdida monetizada calculada, mientras que la fórmula del cálculo se muestra a continuación:

$$MONETIZACIÓN PÉRDIDA = H.D.M.* (C.M.O.D. + C.I.F. + C.H.E.M.O)$$

H.D.I. = Horas improductivas por demoras en trabajos de mantenimiento

C.M.O.D. = Costo por hora de mano de obra directa

C.I.F. = Costos indirectos de fabricación por hora

C.H.E.M.O. = Costos de horas extras de mano de obra

Tabla 12

Costeo de horas improductivas por demoras en trabajos de mantenimiento

Mes	Horas improductivas por paradas por averías	Costo de mano de obra directa (S/)	Costos indirectos de fabricación (S/)	Costos de horas extras (S/)	Pérdida monetaria (S/)
Enero	6.25	83.83	130.10	104.78	318.71
Febrero	1.64	22.05	34.22	27.56	83.83
Marzo	1.33	17.86	27.72	22.33	67.91
Abril	2.02	27.10	42.05	33.87	103.02
Mayo	9.70	130.06	201.85	162.57	494.47
Junio	5.68	76.23	118.31	95.29	289.84
Julio	4.22	56.56	87.78	70.70	215.04
Agosto	3.54	47.53	73.76	59.41	180.69
Septiembre	3.29	44.13	68.48	55.16	167.77
Octubre	7.95	106.69	165.58	133.37	405.64
Noviembre	5.42	72.75	112.90	90.93	276.58
Diciembre	3.59	48.15	74.73	60.19	183.07
Total	54.64	732.93	1,137.48	916.16	2,756.57

3.11. Monetización errores en los trabajos de mantenimiento - Mantenimiento

El cuarto efecto identificado en el área de mantenimiento son los errores de planificación, la causa raíz que genera este efecto es la falta de indicadores de gestión.

Los trabajos de mantenimiento se retrasan por la falta de planificación de estos mismo, pero es casi imposible planificar sin tener indicadores de gestión que permitan calcular el ritmo y la frecuencia de estos mismos. En la Tabla 13 se muestra la pérdida monetizada calculada, mientras que la fórmula del cálculo se muestra a continuación:

$$\text{MONETIZACIÓN PÉRDIDA} = \text{H.D.} * (\text{C.M.O.D.} + \text{C.I.F.} + \text{C.H.E.M.O.})$$

H.D. = Horas improductivas por falta de planificación de mantenimiento

C.M.O.D. = Costo por hora de mano de obra directa

C.I.F. = Costos indirectos de fabricación por hora

C.H.E.M.O. = Costos de horas extras de mano de obra

Tabla 13

Costeo de horas improductivas por falta de planificación de mantenimiento

Mes	Horas improductivas por falta de planificación de mantenimiento	Costo de mano de obra directa (S/)	Costos indirectos de fabricación (S/)	Costos de horas extras (S/)	Pérdida monetaria (S/)
Enero	5.87	78.79	122.27	98.48	299.54
Febrero	7.81	104.70	162.49	130.87	398.05
Marzo	3.75	50.35	78.14	62.93	191.42
Abril	12.47	167.23	259.54	209.04	635.81
Mayo	1.90	25.54	39.64	31.93	97.11
Junio	3.96	53.16	82.50	66.45	202.10
Julio	1.90	25.46	39.51	31.83	96.80
Agosto	0.81	10.88	16.89	13.60	41.38
Septiembre	2.29	30.74	47.71	38.42	116.87
Octubre	3.20	42.92	66.62	53.66	163.20
Noviembre	7.78	104.33	161.92	130.41	396.67
Diciembre	3.15	42.30	65.65	52.87	160.82
Total	54.90	736.40	1,142.87	920.50	2,799.76

3.12. Monetización de malas condiciones de trabajo - Mantenimiento

El quinto efecto identificado en el área de mantenimiento son las malas condiciones de trabajo, la causa raíz que genera este efecto es la falta de luminosidad en las áreas de trabajo.

La falta de luminosidad hace que los trabajadores no puedan identificar los fallos, de cierta forma esto reduce la productividad y el avance de los trabajos de mantenimiento.

En la Tabla 14 se muestra la pérdida monetizada calculada, mientras que la fórmula del cálculo se muestra a continuación:

$$MONETIZACIÓN PÉRDIDA = H.M.C.* (C.M.O.D. + C.I.F. + C.H.E.M.O)$$

H.M.C. = Horas improductivas por malas condiciones de trabajo

C.M.O.D. = Costo por hora de mano de obra directa

C.I.F. = Costos indirectos de fabricación por hora

C.H.E.M.O. = Costos de horas extras de mano de obra

Tabla 14

Costeo de horas improductivas por malas condiciones de trabajo

Mes	Horas improductivas por malas condiciones de trabajo	Costo de mano de obra directa (S/)	Costos indirectos de fabricación (S/)	Costos de horas extras (S/)	Pérdida monetaria (S/)
Enero	11.96	160.44	249.00	200.55	609.99
Febrero	8.75	117.37	182.15	146.71	446.23
Marzo	6.69	89.71	139.23	112.14	341.08
Abril	3.05	40.93	62.52	51.16	155.61
Mayo	7.58	104.67	157.80	127.09	386.56
Junio	10.31	138.29	214.63	172.87	525.79
Julio	3.38	45.30	70.31	56.63	172.24
Agosto	7.25	97.25	150.93	121.56	369.73
Septiembre	3.55	47.62	73.90	59.52	181.04
Octubre	3.46	46.44	72.07	58.05	176.56
Noviembre	2.65	35.55	55.17	44.43	135.14
Diciembre	11.68	156.67	243.14	195.83	595.64
Total	80.31	1,077.23	1,671.84	1,346.54	4,095.62

3.13. Monetización de errores de montaje de maquinaria - Mantenimiento

El sexto efecto identificado en el área de mantenimiento son los errores de montaje de maquinaria, la causa raíz que genera este efecto es la falta de dispositivos para prevenir o detectar errores en montajes.

Muy frecuentemente se presentan errores en los montajes de las maquinas, generando retrasos al comenzar la producción, los errores se presentan por la falta de dispositivos que permita al operario darse cuenta del error a tiempo y no varios minutos después.

En la Tabla 15 se muestra la pérdida monetizada calculada, mientras que la fórmula del cálculo se muestra a continuación:

$$MONETIZACIÓN PÉRDIDA = H.E.M.* (C.M.O.D. + C.I.F. + C.H.E.M.O)$$

H.E.M. = Horas improductivas por errores de montaje de maquinaria

C.M.O.D. = Costo por hora de mano de obra directa

C.I.F. = Costos indirectos de fabricación por hora

C.H.E.M.O. = Costos de horas extras de mano de obra

Tabla 15

Monetización de efecto 6 - Área de mantenimiento

Mes	Horas improductivas por errores de montaje de maquinaria	Costo de mano de obra directa (S/)	Costos indirectos de fabricación (S/)	Costos de horas extras (S/)	Pérdida monetaria (S/)
Enero	35.65	478.19	742.14	597.74	1,818.06
Febrero	29.87	400.66	621.81	500.83	1,523.30
Marzo	27.59	370.08	574.35	462.60	1,407.02
Abril	33.65	451.36	700.50	564.20	1,716.07
Mayo	35.47	475.78	738.39	594.72	1,808.88
Junio	33.85	454.05	704.67	567.56	1,726.27
Julio	41.25	553.31	858.71	691.63	2,103.65
Agosto	35.25	472.82	733.81	591.03	1,797.67
Septiembre	25.69	344.59	534.80	430.74	1,310.13
Octubre	28.94	388.19	602.45	485.23	1,475.87
Noviembre	35.33	473.90	735.48	592.37	1,801.75
Diciembre	32.14	431.11	669.07	538.89	1,639.06
Total	394.68	5,294.03	8,216.18	6,617.53	20,127.73

3.14. Priorización de pérdidas económicas

Después de haber monetizado todos los efectos identificados, el siguiente paso consiste en priorizar aquellos que tienen un mayor impacto sobre el problema principal, es decir aquellos que el costo de pérdida representen el 80% de las pérdidas, de acuerdo al criterio de Pareto. En la Tablas 16 y 17 se presentan las matrices de priorización y en las Figuras 8 y 9 se grafica el criterio de Pareto aplicado a cada área respectivamente.

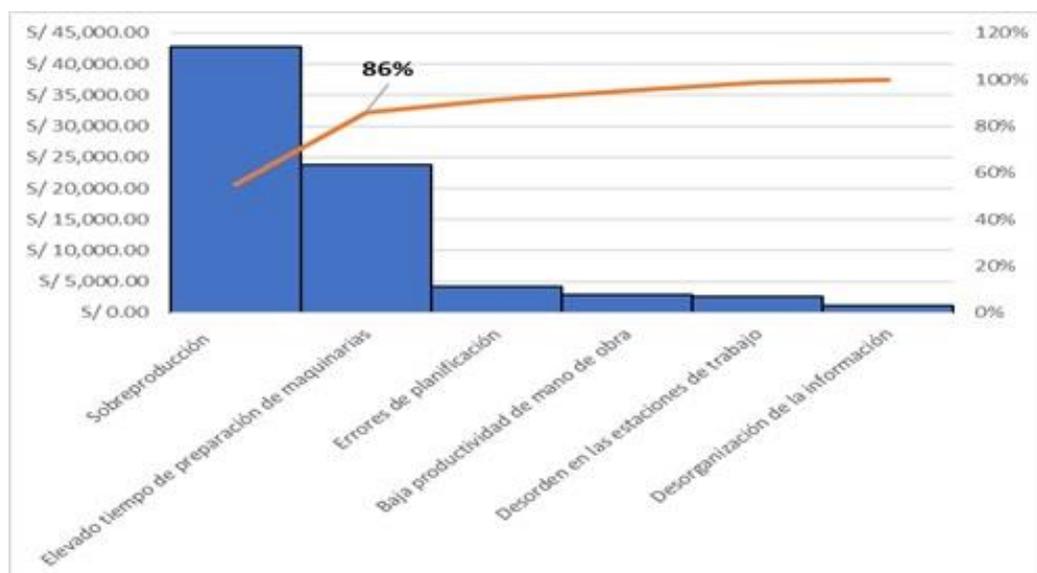
Tabla 16

Priorización de pérdidas económicas - Área de Producción

ITEM	Pérdidas económicas	Monetización	% Impacto	Acumulado
E3	Sobreproducción	S/ 42,750.00	55%	55%
E2	Elevado tiempo de preparación de maquinarias	S/ 23,791.91	31%	86%
E4	Errores de planificación	S/ 4,168.02	5%	91%
E1	Baja productividad de mano de obra	S/ 2,939.37	4%	95%
E5	Desorden en las estaciones de trabajo	S/ 2,675.62	3%	99%
E6	Desorganización de la información	S/ 1,115.32	1%	100%

Figura 8

Pareto de efectos - Área de producción



Nota. El 86% de las pérdidas monetarias en el área de producción se deben a la sobreproducción y el elevado tiempo de preparación de maquinarias

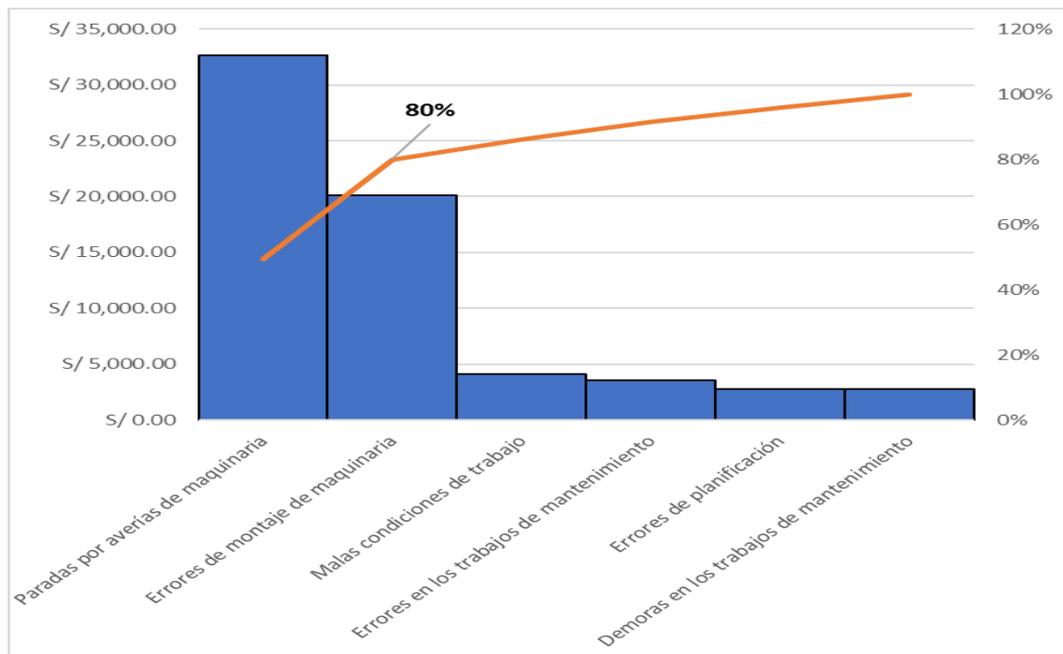
Tabla 17

Priorización de pérdidas económicas - Área de Mantenimiento

ITEM	Pérdidas económicas	Monetización	% Impacto	Acumulado
E2	Paradas por averías de maquinaria	S/ 32,652.06	49%	49%
E6	Errores de montaje de maquinaria	S/ 20,127.73	30%	80%
E5	Malas condiciones de trabajo	S/ 4,095.62	6%	86%
E1	Errores en los trabajos de mantenimiento	S/ 3,565.07	5%	92%
E4	Errores de planificación	S/ 2,799.76	4%	96%
E3	Demoras en los trabajos de mantenimiento	S/ 2,786.57	4%	100%

Figura 9

Pareto de efectos - Área de mantenimiento



Nota. El 80% de las pérdidas monetarias en el área de mantenimiento se deben a las paradas por averías de maquinaria y errores de montaje de maquinaria

3.15. Matriz de indicadores de causa raíz

Tabla 18

Matriz de indicadores - Área de Producción

Área	Cri	Causa raíz	Indicador	Fórmula	Valor actual	Valor objetivo	Pérdida monetaria actual	Ahorro esperado	Herramienta de mejora
PRODUCCIÓN	CR3	Falta de un sistema de control de la producción	Wip to Swip	$\text{Wip to Swip} = \frac{\text{Unidades de productos en proceso}}{\text{Inventario estándar de producción}}$	1.20	1.00	S/ 42,750.00	S/ 17,100.00	Kanban
	CR2	Falta de un método estandarizado para la preparación de maquinaria	Tiempo promedio para preparación de maquinaria (minutos)	$T_c = \frac{\sum \text{Tiempos de preparación de maquinaria}}{\text{Total de número de preparaciones}}$	25.00	10.00	S/ 23,791.91	S/ 9,516.76	Single Minute Exchange of Die (SMED)
			Porcentaje de actividades de cambio de formato con la máquina encendida	$A_e = \frac{\text{Nº total de actividades con la máquina encendida}}{\text{Total de actividades para cambio de formato}}$	65%	85%			

Nota. El valor objetivo de cada indicador se estableció en base al mejor valor alcanzado por la empresa de acuerdo al registro histórico y que se espera sea el estándar a sostener después de la mejora.

Tabla 19

Matriz de indicadores - Área de Mantenimiento

Área	Cri	Causa raíz	Indicador	Fórmula	Valor actual	Valor objetivo	Pérdida monetaria en campaña	Herramienta de mejora
MANTENIMIENTO	CR6	Falta de dispositivos para prevenir o detectar errores en montajes	Porcentaje de errores en trabajos de mantenimiento	$E_m = \frac{N^{\circ} \text{ incidencias de errores en trabajos de mantenimiento}}{\text{Total de trabajos de mantenimiento realizados}} \times 100\%$	18.00%	9.00%	S/ 20,127.73	Poka Yoke
			Tiempo de paradas por errores de montaje de las máquinas	$T_{em} = \sum \text{Horas de paradas registradas por errores de montaje}$	32.89	16.45		
	CR2	Falta de mantenimiento preventivo	Porcentaje de retrasos en trabajos de mantenimiento	$E_R = \frac{N^{\circ} \text{ incidencias de retrasos en trabajos de mantenimiento}}{\text{Total de trabajos de mantenimiento realizados}} \times 100\%$	13.00%	6.50%	S/ 32,652.06	Mantenimiento planificado (Keikaku Hozen)
			Tiempo de paradas por demoras de trabajos de mantenimiento	$T_{dt} = \sum \text{Horas de paradas registradas por demoras de mantenimiento}$	53.36	26.68		

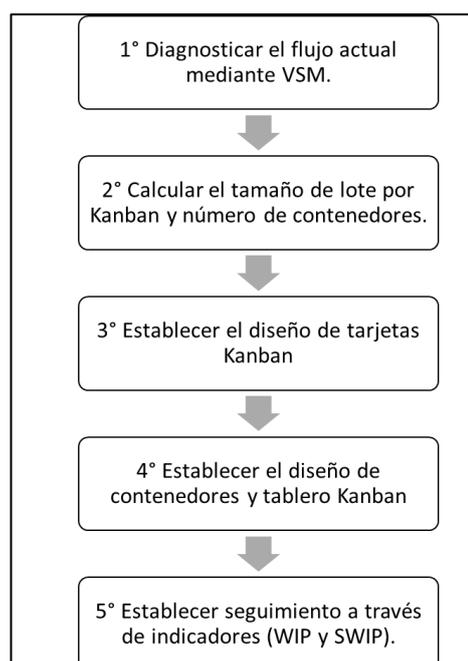
Nota. El valor objetivo de cada indicador se estableció en base al mejor valor alcanzado por la empresa de acuerdo al registro histórico y que se espera sea el estándar a sostener después de la mejora.

3.16. Diseño de Kanban

Como se mencionó uno de los efectos en el área de producción es la sobreproducción, como ya se ha mencionado la empresa actualmente emplea un sistema push es decir su sistema de fabricación se basa en un plan de producción proyectado y donde la información fluye desde la gerencia al mercado, la misma dirección en la que fluyen los materiales, esto implica tener que realizar pronósticos, pero el detalle es que los pronósticos a menudo han presentado inexactitud. El Lean Manufacturing ofrece una herramienta que permite una transición de un sistema push a un sistema pull. El Kanban está basado en un sistema de control del flujo de recursos en procesos de producción a través de tarjetas que indican el tipo y la cantidad de abastecimiento de materia o producción, este sistema funciona en base a la demanda y consumo del cliente, lo que permitiría a la empresa reducir la sobreproducción que le está generando pérdidas económicas. A continuación, en la Figura 10 se muestra el procedimiento establecido para la implementación del Kanban en la empresa.

Figura 10

Procedimiento para implementar Kanban



Nota. Se estima una duración de 3 meses para la ejecución de Kanban

Después de haber diagnosticado mediante el VSM (ver Anexo 02), el siguiente paso es realizar el cálculo del tamaño de lote por Kanban, es decir cuánto de inventario se debe producir para no dejar desabastecido la siguiente estación. Los parámetros empleados por lo general, para realizar este cálculo es el número de tarjetas Kanban, que circulan en un ciclo de control la cantidad por Kanban, mediante el uso de esta técnica, es posible delimitar la circulación y el almacenamiento de los materiales, lo cual permite optimizar dichos parámetros y, en consecuencia, minimizar los niveles de inventario. Es importante tener en cuenta que al calcular los requisitos para implementar el método Kanban, es imperativo seguir las normas que sustentan dicho sistema, las cuales se basan en retirar solo lo necesario (en cuanto a cantidad) y en el momento en que se necesita (en cuanto a tiempo). Según la filosofía de Manufactura Esbelta, los inventarios son considerados como uno de los siete tipos de desperdicio, por lo que se recomienda que el Kanban, sistema de control de inventarios, sea manejado de manera rigurosa en cuanto al tiempo de espera y la cantidad mínima necesaria para su funcionamiento. Los elementos del tiempo y la cantidad previamente mencionados, requieren la consideración de la demanda diaria del cliente que utiliza el producto fabricado por la operación anterior. Esto implica tomar en cuenta el ritmo de consumo del cliente, o el Tiempo Takt, para prevenir la escasez o sobrecarga de producción. El propósito es asegurar el abastecimiento de material con un inventario mínimo.

La fórmula:

$$\text{Piezas por Kanban (ITR)} = D \times TE \times U \times \% VD$$

Donde:

D = Demanda por horizonte de tiempo (por ejemplo y habitualmente semanas).

TE = Tiempo de entrega en las mismas unidades del horizonte de la demanda.

U = Número de ubicaciones (almacenes intermedios).

% VD = Nivel de variación de la demanda. Se obtiene mediante la desviación estándar de la demanda sobre el promedio de la demanda.

Luego de haber calculado el tamaño de los Kanbans se debe calcular cuántos contenedores se debe emplear. La fórmula para determinar el número de contenedores es fácil de emplear, pero cabe resaltar que es necesario siempre tener de manera precisa la capacidad de los contenedores a emplear, a continuación, la fórmula empleada es:

Número de contenedores = (Inventario Total Requerido / Capacidad del contenedor)

En el anexo 03 se muestra el formato donde están los cálculos realizados y los resultados obtenidos, cabe resaltar que el historial de demanda que se utiliza es en base a cada mes, pero este valor puede variar al igual que otros parámetros en caso no se encuentre precisa la información.

El siguiente paso es diseñar las tarjetas *Kanbans* que se emplearán, en este punto es necesario aclarar que se emplearán dos tipos de tarjetas la primera son las tarjetas *Kanbans* de retiro cuyo propósito será especificar la referencia y la cantidad de productos que una estación o área debe retirar del proceso anterior de su contenedor de productos, mientras que la segunda tarjeta es un Kanban de producción especifica la referencia y la cantidad de producto que un proceso debe producir. Estas tarjetas deben contener la información más clara y precisa posible que evite confusiones o sea complejo de llenar. En el anexo 04 se muestra el formato empleado para diseñar estas tarjetas.

Luego de haber establecido el diseño de las tarjetas es necesario diseñar también los contenedores y tableros Kanban. Los contenedores como se mencionó deben tener las

dimensiones adecuadas y contar con un espacio donde pueda ser colocado las tarjetas Kanban. De misma forma los tableros Kanban sirven de guía visual para poder controlar el flujo de los trabajos y contar con un adecuado tamaño para poder poner la cantidad de Kanban empleados por día. En el anexo 05 se muestra el formato empleado la elaboración del diseño.

Finalmente, el último paso para desarrollar el Kanban es realizar el seguimiento del nuevo sistema Pull establecido. Para esta ocasión se emplea el WIP que es el inventario de producto en proceso que en teoría debe tender a 1. En el anexo 06 se muestra el formato establecido para realizar este seguimiento.

Para graficar la comparación del antes y después de implementar se elaboró un nuevo mapa flujo de valor (ver Anexo 07) para poder observar el funcionamiento del sistema actual en comparación con el sistema propuesto a través del Kanban.

3.17. Ahorro esperado por Kanban

La implementación de Kanban se en una metodología altamente efectiva para optimización de procesos productivos de la empresa y para la reducción de sus pérdidas monetarias. Al utilizar esta técnica, se logra una mayor eficiencia en la gestión de inventarios y la producción en general, lo que se traduce en un importante ahorro de dinero para la empresa. La aplicación de Kanban permite una gestión más eficiente de los recursos y una mayor coordinación entre las diferentes estaciones en el área de producción, lo que se traduce en una reducción de los costos asociados a la sobreproducción. Además, la implementación de esta metodología también contribuye a la eliminación de desperdicios y a la identificación de áreas de mejora en los procesos productivos, lo que se traduce en una reducción de los costos asociados a la producción y al almacenamiento de productos terminados. Para el cálculo del ahorro esperado se proyecto en base a la data histórica de reportes de estructuras sobre producidas,

tomando en cuenta los diversos factores que inciden en ellos, para ello la proyección consideró el número de estructuras que se estima se sobre producirán por factor de error humano, puesto que ahora la gestión del flujo de producción se basa en lo que establece la herramienta Kanban, existe un margen de probabilidad de que se produzca errores humanos en la gestión, se utilizará la misma fórmula que se empleo para el costeo inicial.

$$MONETIZACIÓN PÉRDIDA = S.P.* (C.M.O.D. + C.M.D. + C.I.F.)$$

S.P. = N° de estructura de carrocerías sobre producidas

C.M.O.D. = Costo de mano de obra directa perdida por carrocería (S/55.80)

C.M.D.= Costo de materiales directos perdido por carrocería (S/142.60)

C.I.F. = Costos indirectos de fabricación perdidos por carrocería (S/86.60)

Tabla 20

Ahorro esperado por Kanban

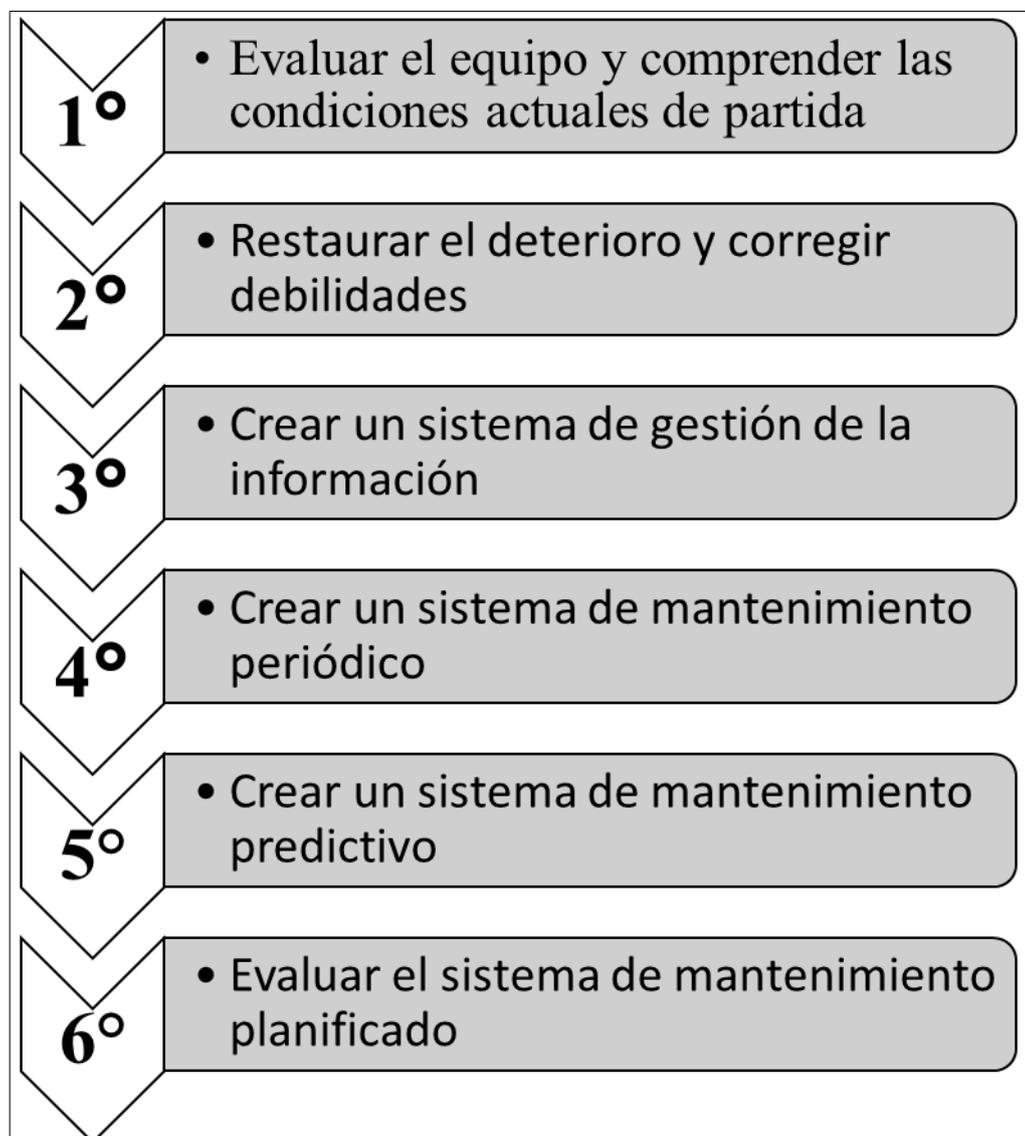
Mes	Número de estructuras sobre producidas	Costos de materiales directos (S/)	Costo de mano de obra directa (S/)	Costos indirectos de fabricación (S/)	Pérdida monetaria final (S/)	Pérdida monetaria inicial (S/)	Ahorro esperado (S/)
Enero	2	285.20	111.6	173.2	570.00	3,135.00	2,565.00
Febrero	2	285.20	111.6	173.2	570.00	3,420.00	2,850.00
Marzo	1	142.60	55.8	86.6	285.00	2,850.00	2,565.00
Abril	3	427.80	228.9	259.8	916.50	3,990.00	3,073.50
Mayo	1	203.60	55.8	86.6	346.00	4,275.00	3,929.00
Junio	2	285.20	111.6	173.2	570.00	3,135.00	2,565.00
Julio	1	142.60	55.8	86.6	285.00	3,420.00	3,135.00
Agosto	2	285.20	172.6	234.2	692.00	3,135.00	2,443.00
Septiembre	1	203.60	55.8	86.6	346.00	3,705.00	3,359.00
Octubre	2	285.20	172.6	173.2	631.00	3,990.00	3,359.00
Noviembre	2	285.20	111.6	234.2	631.00	4,275.00	3,644.00
Diciembre	2	285.20	111.6	173.2	570.00	3,420.00	2,850.00
Total	21	3,116.60	1,355.30	1,940.60	6,412.50	42,750.00	36,337.50

3.18. Diseño de Mantenimiento Planificado (Keikaku Hozen)

La primera herramienta implementada en el área de mantenimiento es uno de los fundamentos del TPM, llamado Mantenimiento Planificado o Keikaku Hozen. Esta herramienta pretende erradicar la inexistencia de programación de mantenimiento, la cual produce numerosos períodos no rentables debido a las detenciones de la maquinaria. En la Figura 11 se muestra el método establecido para efectuar dicha herramienta.

Figura 11

Procedimiento de implantación de Mantenimiento Planificado



Fuente: Elaboración propia

Para comenzar, es necesario evaluar los equipos y entender la situación actual. Se han identificado múltiples tipos de equipos en la planta de producción que se está estudiando. Aunque hay varios equipos que son iguales o parecidos, su importancia varía según su función en el proceso. Es crucial determinar qué equipos necesitan un mantenimiento planificado, para esto, se deben crear registros de los equipos y clasificarlos según criterios predefinidos. La recopilación de registros es fundamental para obtener información relevante y sin procesar para su posterior análisis. En el Anexo 08 del documento se presenta un formato específico para recopilar detalles importantes como el diseño del equipo, su historial operativo y de mantenimiento.

Una vez obtenido el registro, es crucial evaluar cada equipo en relación con diversos factores, tales como seguridad, calidad, operatividad y mantenimiento. Los equipos se clasifican y se determinan las clases que requerirán mantenimiento planificado. Para lograr esto, es esencial establecer un procedimiento que se describe en el anexo 09.

El siguiente paso para implementar el Mantenimiento Planificado implica la recuperación del desgaste y la corrección de las debilidades. Para recuperar el desgaste, se deben realizar trabajos de limpieza y reparación. En cuanto a las debilidades generadas por el diseño, se utiliza el análisis P.M. para identificar y corregir los fallos que surgen de ellas. Si no se corrigen estas debilidades, los fallos inesperados pueden invalidar los beneficios del Mantenimiento Planificado. Por lo tanto, para evitar la repetición de errores en situaciones similares, es vital no cometer los mismos fallos en el futuro. Desde el principio del proceso, se destacó la relevancia de documentar los fallos, ya que esto posibilitará un análisis futuro con premisas ya confirmadas y estudiadas. Con la intención de conseguirlo, se ideó un esquema (consultar apéndice 10) que permita generar reportes precisos sobre las fallas.

Asimismo, tomando en cuenta los datos recopilados y con el objetivo de seguir mejorando para reducir el desperdicio, se desarrolló un proceso para prevenir repeticiones de errores inesperados, que tiene como finalidad resolver las complicaciones detectadas en función de lo registrado, tal como se indica en el Apéndice 11.

La siguiente acción a realizar consiste en establecer un método de administración de datos. La fábrica objeto de investigación precisa de la conservación de múltiples herramientas y maquinarias, cada una con necesidades de mantenimiento específicas durante diversos procedimientos. La inmensidad de información resulta incontrolable.

Con el propósito de comprender la operatividad del sistema de administración de datos de las tareas de mantenimiento, se ha confeccionado el siguiente esquema de flujo (referirse a Anexo 12) con el fin de visualizar cómo se gestiona la información.

El siguiente paso consiste en establecer un sistema de mantenimiento regular, donde se planifique y prepare con anticipación la maquinaria de reemplazo, repuestos, herramientas de inspección, lubricantes y planos de trabajo detallados para ejecutar la tarea programada. Esta preparación anticipada es fundamental para realizar el mantenimiento de manera eficiente. En el Anexo 13 se puede ver un ejemplo de cómo se implementa este sistema.

El siguiente paso consiste en establecer un sistema de mantenimiento predictivo que, aunque no puede eliminar por completo los fallos inesperados, ayuda a reducirlos significativamente mediante el mantenimiento programado. Esto se debe a que el mantenimiento programado se basa en el tiempo y supone una tasa hipotética de deterioro del equipo. No obstante, sin medir la magnitud del deterioro real de las diversas unidades del equipo, no se pueden establecer intervalos de servicio óptimos.

Se necesita una estrategia que se base en las condiciones actuales del equipo, tomando en cuenta el momento y la naturaleza del mantenimiento que se requiere. Para llevar a cabo un mantenimiento predictivo o basado en las condiciones, es fundamental poder medir con exactitud las características que indican el deterioro, llamadas características sustitutivas. Estas pueden ser la vibración, temperatura, presión, flujo, contaminación de lubricantes, disminución del grosor de las paredes, aparición de defectos metalúrgicos, tasa de corrosión y resistencia eléctrica.

Por lo tanto, es necesario implementar un mantenimiento predictivo en conjunto con el mantenimiento regular, el cual incluya el uso de diagnósticos de los equipos. Es recomendable comenzar con los diagnósticos basados en vibraciones, ya que es una técnica comúnmente utilizada en industrias similares a la empresa analizada en esta investigación. Se debe establecer una metodología para diagnosticar las maquinarias que tienen motores rotativos, y luego aplicar esta técnica al equipo estático.

Para una mejor comprensión de la metodología establecida, se presenta en el Anexo 14 un esquema gráfico que ilustra el proceso diseñado para la realización de labores de mantenimiento predictivo.

La etapa final implica la evaluación del sistema de mantenimiento planificado. Para ello, se ha establecido un procedimiento que especifica la forma en que se realizarán las evaluaciones y revisiones de las mejoras implementadas mediante el Mantenimiento Planificado. El diagrama de flujo correspondiente se encuentra en el Anexo 15.

3.19. Ahorro esperado por Mantenimiento Planificado (Keikaku Hozen)

El ahorro esperado por la disminución de horas improductivas por paradas por averías gracias al Mantenimiento Planificado (Keikaku Hozen), ha sido relevante también para mejorar su productividad y rentabilidad. Al implementar estrategias de mantenimiento

planificado, se logra una reducción en los tiempos de parada de los equipos y maquinarias, lo que se traduce en una disminución en los costos y una optimización en los procesos productivos. Además, el mantenimiento planificado permite identificar y prevenir fallas futuras, lo que se traduce en una mayor eficiencia y una reducción en los costos de reparación. La fórmula empleada para el costeo de las pérdidas después de la mejora implementada es la siguiente.

$$\text{MONETIZACIÓN PÉRDIDA} = \text{H.I.P.A.} * (\text{C.M.O.D.} + \text{C.I.F.} + \text{C.H.E.M.O.})$$

H.D.I. = Horas improductivas por paradas por avería

C.M.O.D. = Costo por hora de mano de obra directa

C.I.F. = Costos indirectos de fabricación por hora

C.H.E.M.O. = Costos de horas extras de mano de obra

Tabla 21

Ahorro esperado por Mantenimiento Planificado

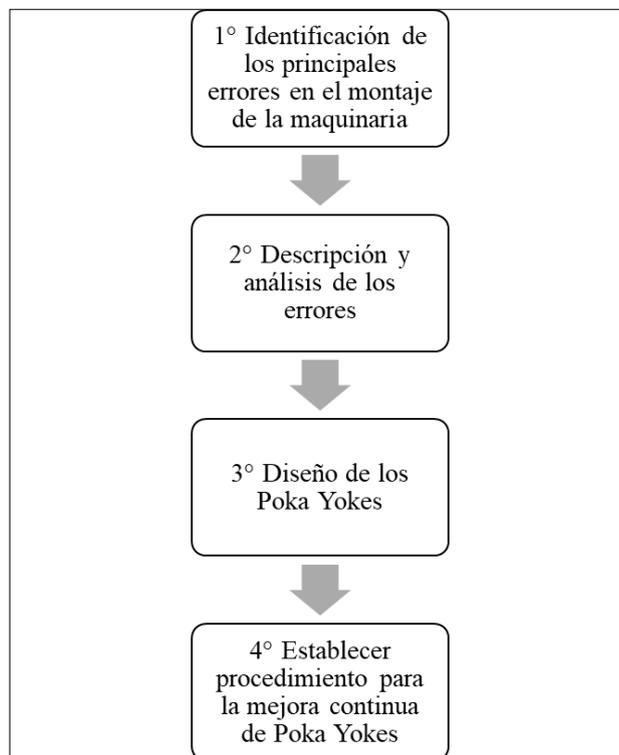
Mes	Horas improductivas por paradas por averías	Costo de mano de obra directa (S/)	Costos indirectos de fabricación (S/)	Costos de horas extras (S/)	Pérdida monetaria (S/)	Pérdida monetaria inicial (S/)	Ahorro esperado (S/)
Enero	7.49	100.50	155.97	125.62	382.09	3,679.36	3,297.27
Febrero	5.51	73.88	114.67	92.36	280.91	2,850.79	2,569.88
Marzo	6.87	92.22	143.12	115.27	350.61	2,786.99	2,436.38
Abril	8.30	111.27	172.68	139.08	423.03	1,809.39	1,386.36
Mayo	6.46	86.64	134.46	108.30	329.41	3,679.93	3,350.52
Junio	6.43	86.22	133.80	107.77	327.79	2,135.15	1,807.36
Julio	6.28	84.23	130.72	105.28	320.23	2,158.22	1,837.99
Agosto	8.89	119.24	185.06	149.05	453.34	3,650.66	3,197.32
Septiembre	6.39	85.70	133.01	107.13	325.84	2,582.91	2,257.07
Octubre	6.91	92.66	143.81	115.83	352.30	2,448.52	2,096.22
Noviembre	7.65	102.55	159.15	128.19	389.89	3,346.83	2,956.94
Diciembre	6.07	81.36	126.27	101.70	309.32	1,523.30	1,213.98
Total	83.24	1116.47	1732.72	1395.58	4244.77	32,652.06	28,407.29

3.20. Diseño de Poka Yoke

La herramienta inicial creada en la zona de mantenimiento es conocida como Poka Yoke, la cual tiene como objetivo reducir de manera importante los errores cometidos durante el ensamblaje de las máquinas. Para lograr esto, se ha establecido un procedimiento específico para la implementación de Poka Yoke (observar Figura 12).

Figura 12

Procedimiento para la implementación de Poka Yoke



Nota. Se estima una duración de 3 meses para la ejecución de Poka Yoke

El comienzo del proceso de implantación de Poka Yoke es detectar los fallos más frecuentes en el ensamblaje de la maquinaria, es decir, aquellos que tienen una mayor cantidad de ocurrencias y enfocar el análisis en estos, para crear dispositivos que prevengan los errores. La Tabla 20 muestra los errores registrados en la última campaña, a través de un Diagrama de Pareto (Figura 13) se pueden identificar los fallos que representan más del 80% de las ocurrencias.

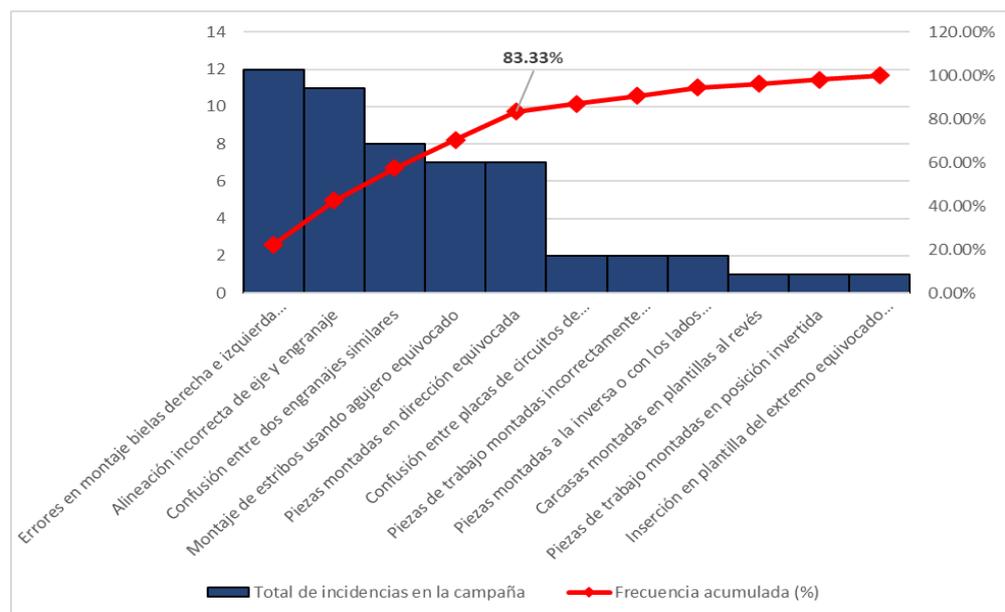
Tabla 22

Incidencias de los tipos de errores en el montaje de maquinaria

Tipos de errores en el montaje de maquinaria	Incidencias en la campaña	Frecuencia relativa (%)	Frecuencia acumulada (%)
Errores en montaje bielas derecha e izquierda en eje	12	22.22%	22.22%
Alineación incorrecta de eje y engranaje	11	20.37%	42.59%
Confusión entre dos engranajes similares	8	14.81%	57.41%
Montaje de estribos usando agujero equivocado	7	12.96%	70.37%
Piezas montadas en dirección equivocada	7	12.96%	83.33%
Confusión entre placas de circuitos de detección y las de circuito de control	2	3.70%	87.04%
Piezas de trabajo montadas incorrectamente en el útil	2	3.70%	90.74%
Piezas montadas a la inversa o con los lados inversos	2	3.70%	94.44%
Carcasas montadas en plantillas al revés	1	1.85%	96.30%
Piezas de trabajo montadas en posición invertida	1	1.85%	98.15%
Inserción en plantilla del extremo equivocado del tubo	1	1.85%	100.00%

Figura 13

Diagrama de Pareto de los tipos de errores en el montaje de maquinaria



Nota. Se empleó los registros oficiales reportados por el área de mantenimiento para la elaboración del diagrama de Pareto

El siguiente paso implica explicar y entender los errores más importantes, ya que, durante el análisis, es necesario determinar las causas principales que generan estas dificultades y también reconocer el tipo de Poka Yoke necesario para cada situación. Luego, en la Tabla 21 se detalla minuciosamente la descripción de los errores principales en el proceso de montaje.

Tabla 23

Descripción y análisis de los principales errores de montaje

PROCESOS	PROBLEMA	DESCRIPCIÓN DE ERROR	TIPO DE POKA YOKE REQUERIDO
Montaje de subconjuntos ejes-bielas	Inexactitudes en la instalación de las bielas en el eje, tanto en el lado derecho como en el izquierdo.	A pesar de que los componentes de ensamblaje para los lados derecho e izquierdo estaban inclinados en direcciones opuestas, las varillas tenían una semejanza visual y, ocasionalmente, se situaban al revés, lo que daba lugar a fallos.	Prevención de equivocaciones y gestión formal
Montaje de un engranaje en un eje	Alineación incorrecta de eje y engranaje	Se presentan fallos en el proceso de alineación de las marcas, lo que conlleva a la necesidad de desmontar las unidades luego de haber terminado la construcción de las cajas de transmisión de los servomotores de las bandas.	Prevención de equivocaciones y gestión formal
Montaje de engranajes	Confusión entre dos engranajes similares	Los errores en la alineación de las marcas provocan dificultades para discernir a simple vista la distinción entre los engranajes, lo cual genera fallas en el montaje al ajustarlos de forma intercambiable en el eje. Como resultado, es necesario desmontar las unidades después de haber completado las cajas de transmisión de los servomotores de las fajas.	Prevención de equivocaciones y gestión formal
Montaje de estribos de bloqueo forjado	Montaje de estribos usando agujero equivocado	La placa lateral se ha unido incorrectamente al estribo de bloqueo a través de un agujero equivocado.	Prevención de equivocaciones y gestión formal
Montaje de piezas de unión	Piezas montadas en dirección equivocada	En ocasiones, es posible que las escuadras y las bridas se coloquen incorrectamente en los travesaños.	Prevención de equivocaciones y gestión formal

El paso crucial y prioritario dentro del enfoque de Poka Yoke es la concepción de dispositivos preventivos de errores. Para su elaboración, es fundamental atender a las perspectivas y conocimientos de los técnicos especializados en mantenimiento. El anexo 16 detalla el formato utilizado para establecer mejoras, exponiendo los resultados obtenidos tras la implementación de dichas mejoras.

Los errores de alineación incorrecta de los ejes y engranajes representan un gran problema, ya que su corrección implica el desmontaje completo de la máquina. Para evitar esta situación, se ha diseñado una plantilla que garantiza la alineación correcta de dichos elementos. Esta plantilla se coloca sobre el eje y se posiciona mediante uno de los agujeros de la placa, de forma que el vástago largo guía el engranaje a lo largo del eje y se logra la orientación adecuada. El formato utilizado para el diseño puede ser consultado en el anexo 17.

Se ha propuesto realizar alteraciones menores en los orificios de los engranajes con el fin de evitar errores de montaje causados por la confusión entre ellos. Debido a que estos engranajes presentan similitudes a simple vista y se ajustan de manera intercambiable en el eje, se han producido errores al colocarlos, ya que la diferencia entre los engranajes de 50 Hz y 60 Hz es muy sutil, de solo tres dientes. Con el objetivo de evitar esta problemática, se ha modificado la profundidad de los agujeros de los engranajes de 60 Hz, de modo que aún si el operario decide colocar un engranaje de 50 Hz en lugar de uno de 60 Hz, no será posible insertarlo debido a la menor profundidad del agujero. En el apéndice 18 se muestra el diseño utilizado para llevar a cabo esta modificación.

Uno de los errores más habituales en las labores de mantenimiento consiste en instalar estribos en agujeros inadecuados. Este fallo se origina cuando se une la placa lateral con el estribo de bloqueo a través de un orificio equivocado del último, provocando que la máquina no arranque de forma correcta y, por ende, que la producción no pueda iniciarse. La solución radica en emplear vástagos de guía en una plantilla para posicionar de manera adecuada. El diseño de la plantilla utiliza vástagos de referencia para el agujero de ensamblaje principal y con reborde apropiado para mantener el estribo de bloqueo en la posición correcta para su montaje. En el apéndice 19 se puede observar el formato utilizado.

En último término, el fallo de montaje residía en la incorrecta colocación de las piezas de unión, debido a que los soportes y anclajes se colocaron en sentido opuesto sobre los largueros. A fin de remediar este contratiempo, se ideó una herramienta de hierro angular en la plantilla del siguiente ensamblaje, para lograr el reconocimiento eficiente de los largueros con soportes colocados invertidos. Adjunto al presente texto, se muestra el modelo utilizado para el diseño en el anexo 20.

El paso cuarto de Poka Yoke consiste en implementar un proceso de mejora continua que se enfoque en el progreso constante y gradual de las mejoras iniciales. Este proceso es fundamental para garantizar la estabilización de los dispositivos y la detección continua de errores o áreas de mejora. Para lograr la sostenibilidad de las mejoras a lo largo del tiempo, se deben establecer acciones sistemáticas y recurrentes que permitan revisar todos los procesos del sistema de mejora implementado con el fin de mejorar la gestión y reducir los desperdicios.

3.21. Ahorro esperado por Poka Yoke

La implementación de técnicas eficientes dentro de la empresa metalmeccánica ha sido fundamental para optimizar los procesos productivos y lograr resultados satisfactorios. En este sentido, la incorporación de Poka Yoke se convirtió en una herramienta valiosa para minimizar los errores de montaje de maquinaria y reducir las horas improductivas. Como resultado, se espera un ahorro significativo en términos económicos y de tiempo, lo que permitirá a la empresa incrementar su rentabilidad y mejorar su competitividad en el mercado. En este caso de acuerdo a la proyección de las horas improductivas por errores de montaje de maquinaria, de igual forma se tomó en cuenta el historial de registros y se considero para la proyección las horas improductivas por errores de montaje de maquinaria que se generara por error humano.

$$MONETIZACIÓN PÉRDIDA = H.E.M.* (C.M.O.D. + C.I.F. + C.H.E.M.O)$$

H.E.M. = Horas improductivas por errores de montaje de maquinaria

C.M.O.D. = Costo por hora de mano de obra directa

C.I.F. = Costos indirectos de fabricación por hora

C.H.E.M.O. = Costos de horas extras de mano de obra

Tabla 24

Ahorro esperado por Poka Yoke

Mes	Horas improductivas por errores de montaje de maquinaria	Costo de mano de obra directa (S/)	Costos indirectos de fabricación (S/)	Costos de horas extras (S/)	Pérdida monetaria (S/)	Pérdida monetaria inicial (S/)	Ahorro esperado (S/)
Enero	2.64	35.43	54.99	44.29	134.71	1,818.06	1,683.35
Febrero	2.12	28.44	44.14	35.55	108.14	1,523.30	1,415.16
Marzo	3.46	46.47	72.13	58.09	176.69	1,407.02	1,230.33
Abril	3.27	43.82	68.01	54.77	166.60	1,716.07	1,549.47
Mayo	2.11	28.32	43.95	35.40	107.67	1,808.88	1,701.21
Junio	3.21	43.11	66.90	53.88	163.89	1,726.27	1,562.38
Julio	2.35	31.47	48.85	39.34	119.66	2,103.65	1,983.99
Agosto	2.92	39.18	60.81	48.98	148.97	1,797.67	1,648.70
Septiembre	3.25	43.53	67.56	54.42	165.52	1,310.13	1,144.61
Octubre	3.97	53.28	82.69	66.60	202.56	1,475.87	1,273.31
Noviembre	2.65	35.59	55.23	44.49	135.31	1,801.75	1,666.44
Diciembre	3.55	47.68	74.00	59.60	181.27	1,639.06	1,457.79
Total	35.51	476.33	739.25	595.41	1811.50	20,127.73	18,316.24

3.2.2. Ahorro esperado por SMED

La implementación de SMED en la empresa metalmecánica trae consigo una serie de beneficios para la organización. Uno de los más destacados, sin duda, es el ahorro monetario esperado por la disminución de horas de preparación de maquinaria. Este proceso permite reducir el tiempo de cambio de herramientas y ajustes, lo que se traduce en una mayor eficiencia y productividad en la línea de producción. Gracias a esta metodología, se espera una optimización en los costos de producción, lo que permitirá a la empresa ser más competitiva en el mercado y aumentar su rentabilidad. La implementación de SMED es una inversión inteligente que puede llevar a una importante mejora en la eficiencia y rentabilidad de la empresa. A continuación, se muestra el ahorro esperado.

$$MONETIZACIÓN PÉRDIDA = H.M. * (C.M.O.D. + C.I.F. + C.H.E.M.O)$$

H.M. = Horas de preparación de maquinaria

C.M.O.D. = Costo por hora de mano de obra directa

C.I.F. = Costos indirectos de fabricación por hora

C.H.E.M.O. = Costos de horas extras de mano de obra

Tabla 25

Costeo de horas de preparación de máquinas - Área de producción

Mes	Horas de preparación de maquinaria	Costo de mano de obra directa (S/)	Costos indirectos de fabricación (S/)	Costo de horas extras (S/)	Pérdida monetaria (S/)	Pérdida monetaria inicial (S/)	Ahorro esperado (S/)
Enero	5.52	73.99	114.84	92.49	281.32	2,051.63	1,770.31
Febrero	4.40	59.04	91.62	73.79	224.45	2,057.75	1,833.30
Marzo	4.17	55.97	86.86	69.96	212.79	1,827.75	1,614.96
Abril	3.23	43.39	67.34	54.24	164.97	2,868.10	2,703.13
Mayo	5.18	69.44	107.77	86.80	264.01	1,200.48	936.47
Junio	5.26	70.56	109.51	88.20	268.27	1,807.86	1,539.59
Julio	4.16	55.82	86.63	69.78	212.23	1,200.48	988.25
Agosto	5.90	79.13	122.81	98.92	300.86	2,066.93	1,766.07
Septiembre	4.01	53.84	83.55	67.30	204.69	2,126.09	1,921.40
Octubre	4.87	65.35	101.42	81.68	248.45	2,221.46	1,973.01
Noviembre	5.01	67.15	104.21	83.94	255.29	2,033.27	1,777.98
Diciembre	4.27	57.26	88.86	71.57	217.70	2,330.08	2,112.38
Total	55.98	750.93	1165.43	938.67	2855.03	23,791.91	20,936.88

3.23. Proceso de capacitación de las mejoras

La planificación de las capacitaciones es esencial para el éxito en la implementación de metodologías como Kanban, Poka Yoke, SMED y Mantenimiento Planificado. Estas prácticas permiten a las empresas optimizar la producción, mejorar la calidad del producto, disminuir costos y aumentar la eficiencia en los procesos. Es por ello que es fundamental contar con un plan de capacitación que permita a los colaboradores adquirir los conocimientos y habilidades necesarias para implementar estas metodologías de manera efectiva. La capacitación en estas técnicas no sólo mejora el rendimiento y la eficiencia de los trabajadores, sino que también les proporciona una mayor seguridad en el desempeño de sus tareas. Además, permite a la empresa contar con un equipo altamente capacitado y capaz de adaptarse a los cambios y desafíos del mercado. Por tanto, la planificación y la capacitación son aspectos clave para garantizar el éxito en la implementación de estas metodologías y lograr una mejora continua en el desempeño de la empresa.

El programa de capacitaciones se diseñó con el objetivo de proporcionar a los miembros de la organización las herramientas necesarias para mejorar la eficiencia y eficacia en los procesos de producción. La implementación de estas metodologías permitirá a la empresa reducir costos, mejorar la calidad de los productos y servicios, y aumentar la satisfacción del cliente. Los participantes de estas capacitaciones tendrán la oportunidad de conocer en profundidad los fundamentos de cada una de estas metodologías, así como también las técnicas y herramientas necesarias para su aplicación efectiva en el entorno laboral. A continuación, en la Tabla 22 se puede observar el cronograma de capacitaciones.

3.24. Evaluación económica y financiera de la propuesta de mejora

Para determinar el costo de la inversión, es necesario agregar el monto completo de los recursos, el monto total de las actividades, los gastos imprevistos, la tarifa de las capacitaciones, los honorarios de los empleados y otros importes adicionales.

La cantidad de dinero asignada a cada herramienta se divide en tres etapas: planificación, implementación y sostenibilidad. Es importante destacar que el presupuesto del proyecto incluye la totalidad de la planta industrial y la compañía tiene políticas para promover mejoras.

El presupuesto estimado para introducir Kanban se presenta en el anexo 22, teniendo en cuenta los costos que se incurrirán durante las tres fases, el total asciende a S/. 80,572.00.

En el anexo 23 se muestra el presupuesto calculado para la implementación de SMED, considerando lo que se gastará a lo largo de las tres etapas el monto asciende a S/. 60,990.00. Cabe resaltar que el costo por capacitación es considerable por lo complejo que resulta desarrollar la herramienta, por otro lado, también es considerado los honorarios de los investigadores, por un tema de transferencia financiera y ética empresarial la empresa debe remunerar por las ideas desarrolladas a los trabajadores.

En el anexo 24 se muestra el presupuesto calculado para la implementación de Mantenimiento Planificado, considerando lo que se gastará a lo largo de las tres etapas el monto asciende a S/. 41,950.00. Cabe resaltar que el monto resulta un poco menor, porque a diferencias de las otras herramientas el Mantenimiento Planificado mejora la gestión, parte de un sistema ya establecido, el cual mejora considerablemente, a diferencia de las otras herramientas donde se innova y crean nuevos procedimientos.

En el anexo 25 se muestra el presupuesto calculado para la implementación de Poka Yoke, considerando lo que se gastará a lo largo de las tres etapas el monto asciende a

S/. 53,500.00. Cabe resaltar que los que eleva el costo de la inversión, es la construcción e implementación de los dispositivos.

A continuación, se presenta en la Tabla 23 el monto total de inversión necesaria para llevar adelante la propuesta de mejora. En ella se detalla el presupuesto calculado para la inversión en cada herramienta, así como la pérdida actual, la pérdida prevista después de la mejora y el ahorro total.

Tabla 27

Resumen de inversiones y beneficios

HERRAMIENTA IMPLEMENTADA	PÉRDIDA MONETARIA ACTUAL	PÉRDIDA MONETARIA DESPUÉS DE MEJORA	AHORRO TOTAL	INVERSIÓN REQUERIDA
SMED	S/ 42,750.00	S/ 6,412.50	S/36,337.50	S/60,990.00
KANBAN	S/ 23,791.91	S/ 2,855.03	S/20,936.88	S/50,572.00
POKA YOKE	S/ 20,127.73	S/ 1,811.50	S/18,316.24	S/53,500.00
MANTENIMIENTO PLANIFICADO	S/ 32,652.06	S/ 4,244.77	S/28,407.30	S/41,950.00
TOTAL	S/ 119,321.70	S/ 15,323.79	S/103,997.91	S/207,012.00

Fuente: Elaboración propia

Una vez calculada la inversión, es necesario determinar el periodo de evaluación y la tasa utilizada para evaluar la propuesta de mejora. En este caso, se ha considerado un horizonte temporal de cinco años para el proyecto actual, basándose en estudios de referencia que indican que dicho lapso es suficiente para desarrollar las tres fases de la inversión. Por otro lado, se ha considerado una tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) del 23.16% los cálculos detallados se encuentran disponibles en el Anexo 26.

Posteriormente en la Figura 14, se muestra el análisis económico realizado donde se tiene que el proyecto se capitalizará en S/. 40,891.07 (VAN) a lo largo de los cinco años, con un rendimiento del 32.25% (TIR), una relación Beneficio-Costo de 1.20.

Figura 14

Formato empleado para realizar el análisis económico

Inversión Total	S/.207,012.00
TMAR	23.13%

FLUJO DE CAJA

AÑOS	0	1	2	3	4	5
AHORRO DE PROPUESTA(+)		S/.103,997.9	S/.103,997.9	S/.103,997.9	S/.103,997.9	S/.103,997.9
EGRESOS DE LA PROPUESTA (-)		S/.15,323.8	S/.15,323.8	S/.15,323.8	S/.15,323.8	S/.15,323.8
INVERSIÓN INICIAL (-)	-S/.207,012.0					
Flujo Neto Efectivo	-S/.207,012.0	S/.88,674.1	S/.88,674.1	S/.88,674.1	S/.88,674.1	S/.88,674.1

INDICADORES ECONÓMICOS

VAN	S/.40,891.07	El proyecto se capitalizará en S/. 40,891.07 generando un valor atractivo para la empresa.
TIR	32.25%	El proyecto cuenta con una rentabilidad del 32.25% superior a la TMAR calculada.
RBC	1.20	Por cada sol invertido en el proyecto se obtendra 1.20 de ganancia.
PRI	2.33	De acuerdo a lo obtenido se podrá recuperar la inversión en dos años y 4 meses

Nota. Se estima un tiempo de vida del proyecto de cinco años, este tiempo se basa en los antecedentes de investigación consultados, la tasa de evaluación consideró el porcentaje de inflación reportados por el BCRP de los últimos cinco años.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Se ha determinado que la empresa estudiada presenta pérdidas monetarias por un total de S/119,321.70 anuales, lo cual refleja una falta de eficiencia en la administración de las áreas de producción. Según Hernández y Vizán (2019) es necesario destacar que la rentabilidad de una empresa no solo se mide por su capacidad de generar ingresos, sino también por su habilidad para controlar sus pérdidas. Al comparar con los resultados de la investigación de Hernández y Vizán (2019) donde se afirmó que la gestión eficiente de las áreas de producción y mantenimiento es crucial para lograr el éxito empresarial de cualquier organización. Es por ello que resulta fundamental realizar un diagnóstico en dichas áreas para poder identificar y reducir las pérdidas monetarias que puedan estar afectando a la empresa (Gacharná y González, 2019). Por otra parte Palomino (2019) sostiene que el análisis y evaluación de los procesos productivos y de mantenimiento permiten identificar oportunidades de mejora y optimización de los recursos, facilitando así la toma de decisiones para la implementación de soluciones efectivas que permitan aumentar la eficiencia y rentabilidad de la empresa. Por tanto, es necesario llevar a cabo un diagnóstico riguroso y detallado que permita conocer en profundidad las fortalezas y debilidades de las áreas de producción y mantenimiento, permitiendo implementar acciones correctivas y preventivas para lograr los objetivos empresariales propuestos.

Para la falta de un método estandarizado para la preparación de maquinaria se desarrolló la técnica SMED, que permitió organizar y agilizar las actividades para alistar cada máquina. Respecto a esto según Socconini (2019) sostiene que la implementación de estrategias innovadoras como SMED, se ha convertido en una práctica esencial para mejorar los procesos de producción y reducir los costos. Al

contrastar con la investigación de Hualla y Cárdenas (2018) se argumentó que SMED fue una técnica que permitió minimizar el tiempo de cambio de herramientas y equipos, lo que se tradujo en una mayor eficiencia y un aumento en la cantidad de productos manufacturados. Es por ello que no se puede subestimar la importancia de implementar SMED en una empresa, ya que se trata de una estrategia probada para incrementar la rentabilidad y la competitividad en un mercado global cada vez más exigente Shingo (2021). Castro (2019) en su artículo sostiene que la adopción de SMED también involucra una cultura de mejora continua, donde se busca siempre la optimización de los procesos, lo que a su vez puede generar un impacto positivo en la calidad del producto y la satisfacción del cliente. En resumen, la implementación de SMED en una empresa es una decisión estratégica que puede marcar la diferencia entre el éxito y el fracaso en un mercado cada vez más desafiante.

Para la falta de un sistema de control de la producción se desarrolló como alternativa de solución la técnica KANBAN, que permitió disminuir el nivel de sobreproducción. Respecto a esto según Madariaga (2021) la implementación de KANBAN en una empresa manufacturera puede ser un factor determinante en la mejora continua del proceso productivo y en la optimización de los recursos disponibles. Al comparar con los resultados en el artículo de Uмба y Duarte (2021) les permitió enfocarse en la eliminación de desperdicios y en la gestión eficiente de inventarios, lo que permite reducir costos y mejorar la calidad del producto final. Situación parecida se dio en el estudio de Gacharná y González (2019) que al implementar KANBAN, se estableció un sistema de control de producción que permitió visualizar el flujo de trabajo y detectar cualquier problema en tiempo real, para así poder tomar decisiones rápidas y efectivas. En resumen, la implementación de KANBAN en una empresa

manufacturera puede marcar la diferencia en su productividad y competitividad en el mercado actual Hernández y Vizán (2019).

Para solucionar la falta de dispositivos para prevenir o detectar errores en montajes se escogió la alternativa de solución basada en Poka Yoke. Respecto a esta técnica de acuerdo con Carreras (2021) sostiene que la implementación del método Poka Yoke en una empresa manufacturera es fundamental para garantizar la calidad en los procesos productivos, ya que se tiene como objetivo principal la prevención de errores humanos en la producción. En el estudio de Palomino (2019) se realizó la incorporación de dispositivos o sistemas de detección de fallos, así como la identificación y eliminación de posibles fuentes de error, que permitió una producción más eficiente y segura. Además, en el estudio de Castro (2019) la implementación de Poka Yoke fomentó una cultura de mejora continua en la empresa, donde la identificación de errores y su solución se convirtieron en una prioridad. En definitiva, la implementación de POKA YOKE es una inversión esencial para cualquier empresa manufacturera que desee aumentar la calidad de sus productos y optimizar sus procesos productivos.

Para la falta de mantenimiento preventivo se aplicó uno de los principales pilares del TPM, la técnica Keikaku Hozen (mantenimiento planificado), que permitió organizar y programar todos los trabajos de mantenimiento, logrando mejorar la gestión actual en el área de mantenimiento. Respecto a esta herramienta mencionada según Socconini (2019) la correcta implementación de Keikaku Hozen es una de las claves para lograr un alto nivel de eficiencia en una empresa manufacturera. En el caso de la investigación de Gacharná y González (2019) aplicaron esta metodología de gestión centrado en el mantenimiento preventivo y en la mejora continua de los procesos, lo cual permitió reducir los costos de producción y aumentar la productividad de la

organización. Además, en la investigación de Hualla y Cárdenas (2018) tras realizar la aplicación de Keikaku Hozen se fomentó una cultura de trabajo en equipo y compromiso con el logro de objetivos comunes, lo que se tradujo en una mayor motivación de los empleados y en un ambiente laboral más satisfactorio. En definitiva, la implementación de Keikaku Hozen no solo es una herramienta de mejora de la eficiencia, sino también de crecimiento y desarrollo sostenible para cualquier empresa manufacturera.

4.2. Conclusiones

- Se determinó que la propuesta de mejora basado en Lean Manufacturing tiene un impacto positivo sobre los costos de producción ya que estos se reducen en un 12.16% es decir un ahorro por año de S/. 103,997.90
- Se realizó el diagnóstico de la situación problemática en las áreas de producción y mantenimiento, y se identificaron los efectos y sus causas raíz; la falta de un sistema de control de la producción, falta de un método estandarizado para la preparación de maquinaria, paradas por averías de maquinaria y errores de montaje de maquinaria.
- Se cuantificó las pérdidas monetarias de cada causa raíz, calculándose una pérdida monetaria de S/. 119,321.70 durante el último año, quedando en evidencia la necesidad de buscar mejoras que reduzcan esta pérdida.
- La propuesta de mejora se desarrolló a través de cuatro herramientas de mejora las cuales fueron: Kanban, SMED, Poka Yoke y Mantenimiento Planificado, obteniéndose resultados significativos entre los principales están la reducción de las horas improductivas en un 59.58% y reduciendo la pérdida monetaria en 67.86%.

- Se evaluó económicamente la propuesta de mejora a través de los principales indicadores como; VAN, TIR y B/C, obteniendo valores de S/.40,891.07; 32.25% y 1.20 para cada indicador respectivamente, evidenciando que la implementación de las herramientas era factible y rentable para la empresa.

REFERENCIAS

- Aguirre (2018), Sistema de Costeo. La asignación del costo total a productos y servicios. Colección de estudios de Contaduría. Colombia.
- Arango, M., Campuzano, L., & Zapata, J. (2019). Mejoramiento de procesos de manufactura utilizando Kanban. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14(27), 221-233.
- Arbós, L. & Martínez, F. (2021). TPM en un entorno Lean Management: Estrategia competitiva. Profit Editorial.
- Carreras, M. (2021). Lean Manufacturing. La evidencia de una necesidad. Ediciones Díaz de Santos.
- Castro, J. (2019). Propuesta de implementación de la metodología Lean Manufacturing para la mejora del proceso productivo en la línea de envasado pet de la empresa Ajeper S.A. Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
- Correa, F. G. (2019). Manufactura esbelta (Lean Manufacturing): Principales herramientas. *Revista Raites*, 1(2), 85-112.
- Cruz, J. (2019). Manual para la implementación sostenible de las 5S. Instituto Nacional de Formación Técnico Profesional (INFOTEP). Santo Domingo. República Dominicana.
- Cruz, O. (2018). Análisis de la cadena productiva de metalmecánicas en México y Chile. *PORTES*, revista mexicana de estudios sobre la Cuenca del Pacífico, 12(23), 31-62.
- Diéguez Cuellar, M. (2019). Estrategias competitivas de la industria metalmecánica: análisis comparativo entre Chile y Perú (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomía.
- Gacharná & González (2019). Propuesta de mejoramiento del sistema productivo en la empresa de confecciones Mercy empleando herramientas de Lean Manufacturing. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

- Hernández, J., & Vizán, A. (2019). Lean manufacturing Conceptos, técnicas e implantación. Madrid: Fundación EOI.
- Hualla, R. & Cárdenas, C. (2018). Mejora de procesos en las áreas de mezclado y molienda de una empresa manufacturera de tubosistemas PVC y PEAD aplicando herramientas de calidad y Lean Manufacturing. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Madariaga, F. (2021). Lean manufacturing. España: Bubok.
- Núñez, H. (2022). Los sistemas just-in-time/Kanban, un paradigma productivo. Política y Cultura, (18), 40-60.
- Padilla, L. (2018). Lean manufacturing manufactura esbelta/ágil. Revista Electrónica Ingeniería Primero ISSN, 2076, 3166.
- Palomino, M. (2019). Aplicación de herramientas de Lean Manufacturing en las líneas de envasado de una planta envasadora de lubricantes. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Rodríguez, J. (2019). Manual: Estrategia de las 5S-Gestión para la mejora continua. Honduras: Nobel.
- Rojas, A., Tello, A., & Morera, A. (2021). Implementación del análisis de riesgo en la industria alimentaria mediante la metodología AMEF: enfoque práctico y conceptual. Revista de Medicina Veterinaria, (27), 133-148.
- Sacristán, F. (2022). Mantenimiento total de la producción (TPM): proceso de implantación y desarrollo. FC Editorial.
- Salazar, K. (2019). Oportunidades de negocio en el mercado de Estados Unidos para las exportaciones peruanas de carrocerías provenientes de la región La Libertad. Revista científica.

Shingo, S. (2021). Preparaciones rápidas de máquinas el sistema SMED. Productivity Press.

Socconini, L. (2019). Lean Manufacturing. Paso a paso. Marge Books.

Suzuki, T. (2017). TPM en industrias de proceso. Routledge.

Tejeda, A. (2018). Mejoras de Lean Manufacturing en los sistemas productivos. Ciencia y sociedad.

Tirado, J. (2018). Optimización del proceso de impresión de la empresa Ediecuatorial, a través del uso del análisis del modo y efecto de la falla AMEF y planes de control como base para la estandarización del proceso. Master's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2018.

Tokutaro, S. (2021). TPM en industrias de proceso. Primera edición. Madrid: Portland

Umba, N., & Duarte, J. (2021). Propuesta para implementar herramientas Lean Manufacturing para la reducción del tiempo de ciclo en la fábrica de almojábanas El Goloso. Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

Villaseñor, A. & Galindo, E. (2020). Manual de Lean Manufacturing, guía básica. Editorial Limusa. México.

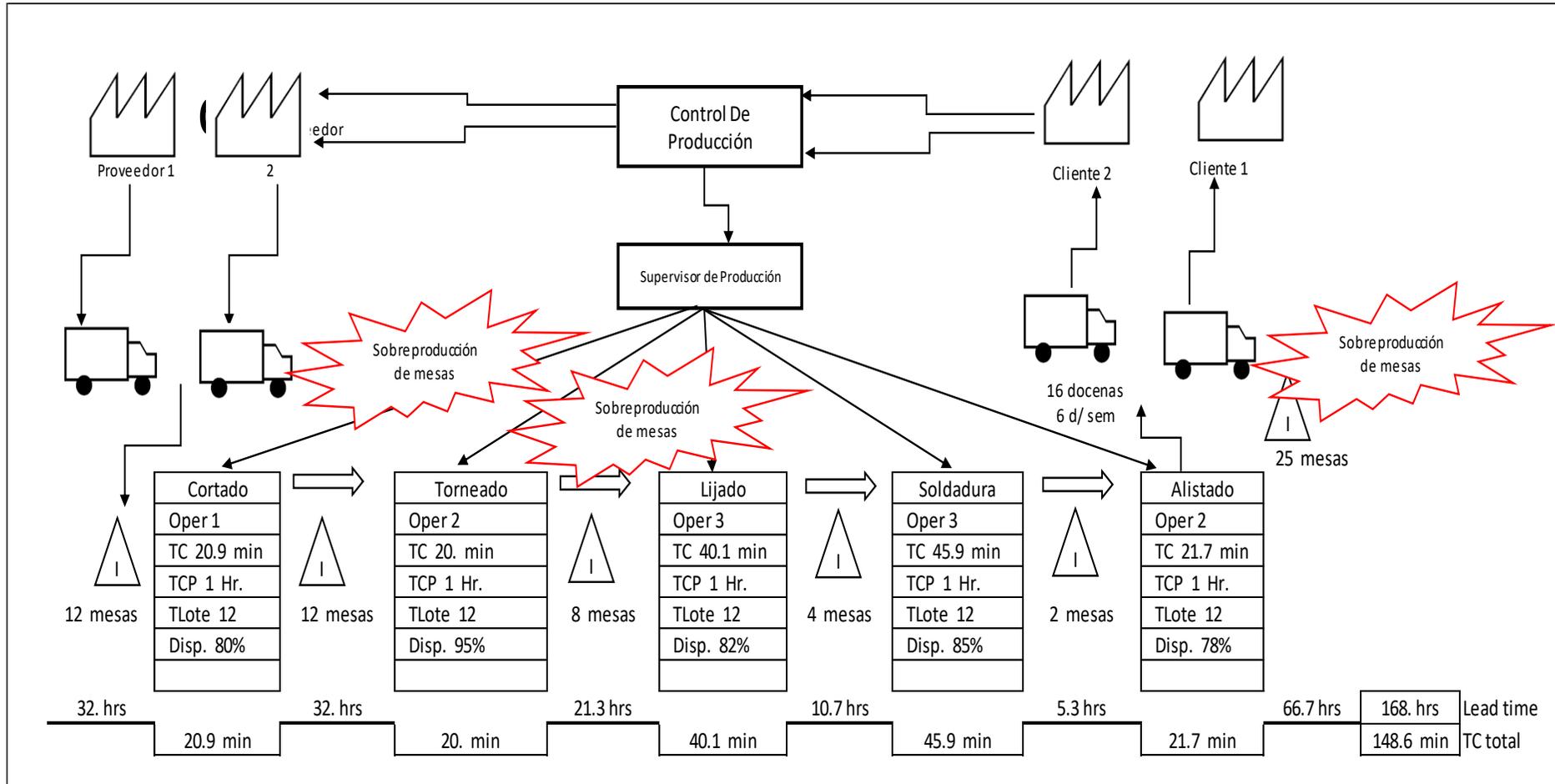
ANEXOS

ANEXO 01: Formato de registro de factores de costos de fabricación

<i>ESTADO DE RESULTADOS MENSUAL</i>							
Descripción	Costo total	Producción (Mesas Fabricadas)	Horas-hombre trabajadas	Horas-estaciones trabajadas	Costo por mesa fabricada	Costo por hora-hombre	Costo por hora-estación
Ingresos por ventas	S/97,500.00	250	3120	1040	S/390.00	S/31.25	S/93.75
Costo materiales directos	S/35,650.00	250	3120	1040	S/142.60	S/11.43	S/34.28
Costo mano de obra directa	S/13,950.00	250	3120	1040	S/55.80	S/4.47	S/13.41
Costos indirectos de fabricación	S/21,650.00	250	3120	1040	S/86.60	S/6.94	S/20.82
Utilidad Bruta	S/26,250.00	250	3120	1040	S/105.00	S/8.41	S/25.24
Gastos administrativos y ventas	S/5,500.00	250	3120	1040	S/22.00	S/1.76	S/5.29
Utilidad antes de impuestos	S/20,750.00	250	3120	1040	S/83.00	S/6.65	S/19.95
Impuestos	S/6,121.25	250	3120	1040	S/24.49	S/1.96	S/5.89
Utilidad Neta (Costo de oportunidad)	S/14,628.75	250	3120	1040	S/58.52	S/4.69	S/14.07

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 02: Mapa de Flujo de Valor (VSM) - Situación Actual



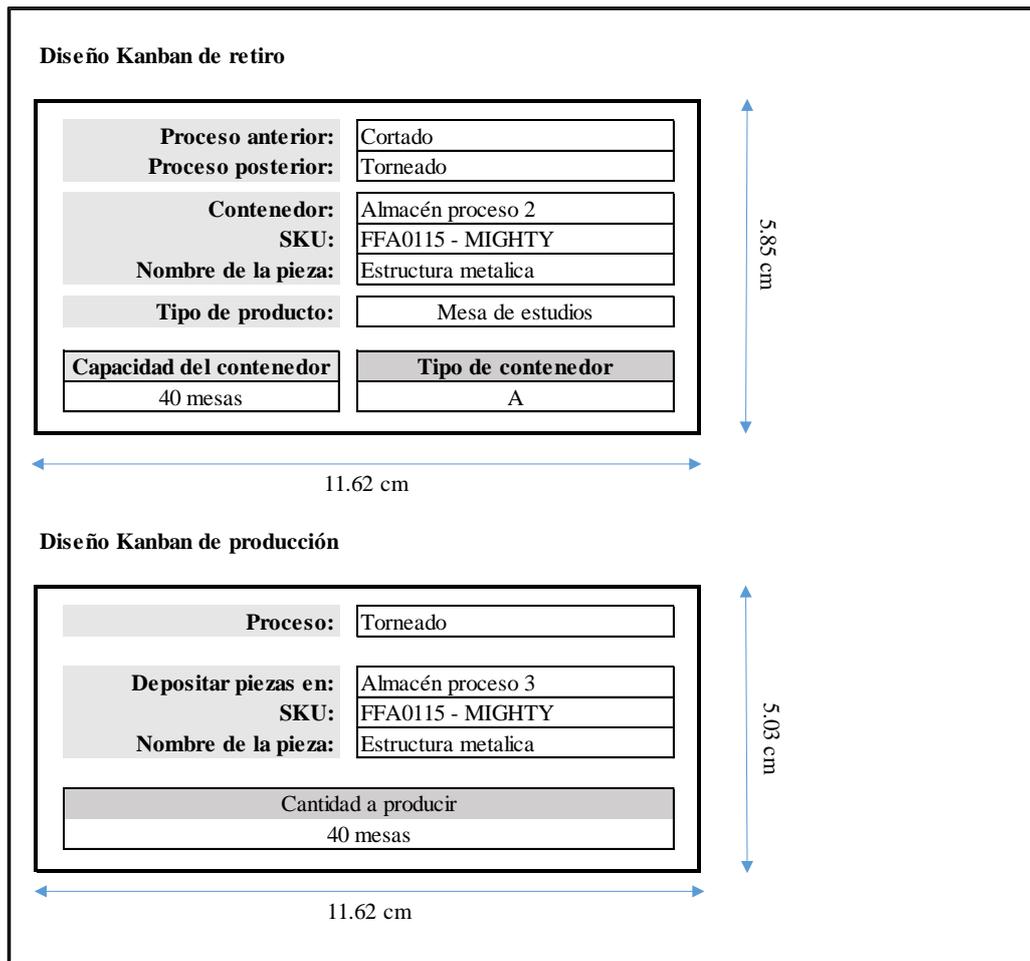
ANEXO 03: Cálculo del tamaño de lote por Kanban y número de contenedores

<i>Horizonte de tiempo</i>		<i>Meses</i>
	Meses	Demanda de mesas
	1	234
	2	235
	3	230
	4	232
	5	234
	6	238
	7	232
	8	239
	9	240
	10	235
	11	236
	12	237
Demanda de docenas semanal (promedio)		5
Tiempo de entrega en semanas - TE		1
Número de ubicaciones (Almacenes intermedios) - U		5
Nivel de Variación de la demanda - %VD		1.01
Inventario Total Requerido - ITR (Mesas por Kanban)		2
Capacidad del contenedor (Docenas)		2
Número de contenedores requeridos		1

Nota:
Llenar y actualizar solo los recuadros sombreados de acuerdo a la necesidad o circunstancia de la empresa.
Los cálculos finales están basados en una producción semanal.

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 04: Formato de diseño de tarjetas Kanban



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 05: Formato de diseño de contenedores y tableros Kanban

DISEÑO DE CONTENEDORES Y TABLERO KANBAN

Diseño de contenedores



Sujetador Kanban de retiro

Proceso anterior:	Cortado
Proceso posterior:	Torneado
Contenedor:	Almacén proceso 2
SKU:	FFA0115 - MIGHTY
Nombre de la pieza:	Estructura metálica
Tipo de producto:	Mesa de estudios
Capacidad del contenedor:	40 mesas
Tipo de contenedor:	A

Diseño tablero Kanban

Sujetador Kanban de producción

Proceso:	Torneado
Depositar piezas en:	Almacén proceso 3
SKU:	FFA0115 - MIGHTY
Nombre de la pieza:	Estructura metálica
Cantidad a producir:	40 mesas

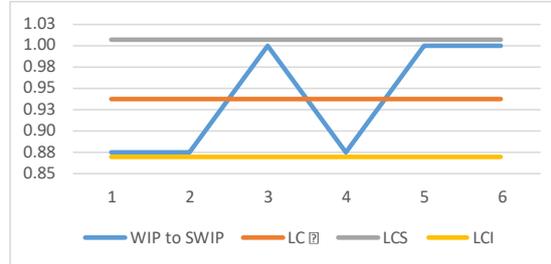
CONDICIÓN DE TRABAJOS	PROCESOS				
	1	2	3	4	5
TRABAJOS URGENTES	↑	↑	↑	↑	↑
TRABAJOS EN PROCESO	↓	↓	↓	↓	↓
TRABAJOS TERMINADOS	↓	↓	↓	↓	↓

Fuente: Elaboración propia

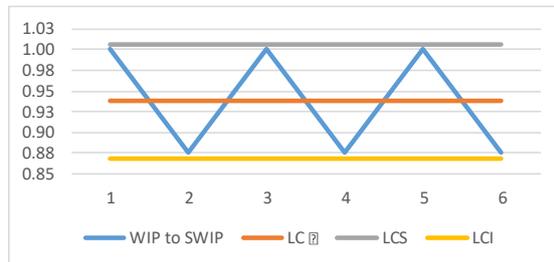
ANEXO 06: Formato para seguimiento de indicadores Kanban

SEGUIMIENTO MEDIANTE INDICADORES DE CONTROL (WIP TO SWIP)

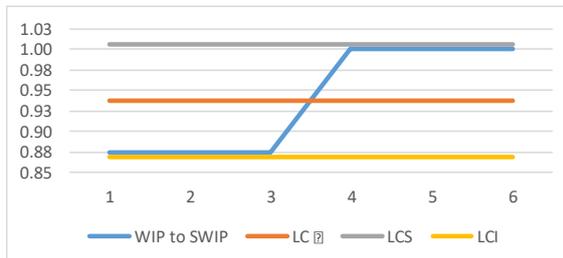
SKU: FFA0353-HEID JU						
Día	WIP	SWIP	WIP to SWIP	LC \bar{X}	LCS	LCI
Lunes	7.00	8.00	0.88	0.94	1.01	0.87
Martes	7.00	8.00	0.88	0.94	1.01	0.87
Miércoles	8.00	8.00	1.00	0.94	1.01	0.87
Jueves	7.00	8.00	0.88	0.94	1.01	0.87
Viernes	8.00	8.00	1.00	0.94	1.01	0.87
Sábado	8.00	8.00	1.00	0.94	1.01	0.87



SKU: FFA0132 - RTE						
Día	WIP	SWIP	WIP to SWIP	LC \bar{X}	LCS	LCI
Lunes	8.00	8.00	1.00	0.94	1.01	0.87
Martes	7.00	8.00	0.88	0.94	1.01	0.87
Miércoles	8.00	8.00	1.00	0.94	1.01	0.87
Jueves	7.00	8.00	0.88	0.94	1.01	0.87
Viernes	8.00	8.00	1.00	0.94	1.01	0.87
Sábado	7.00	8.00	0.88	0.94	1.01	0.87

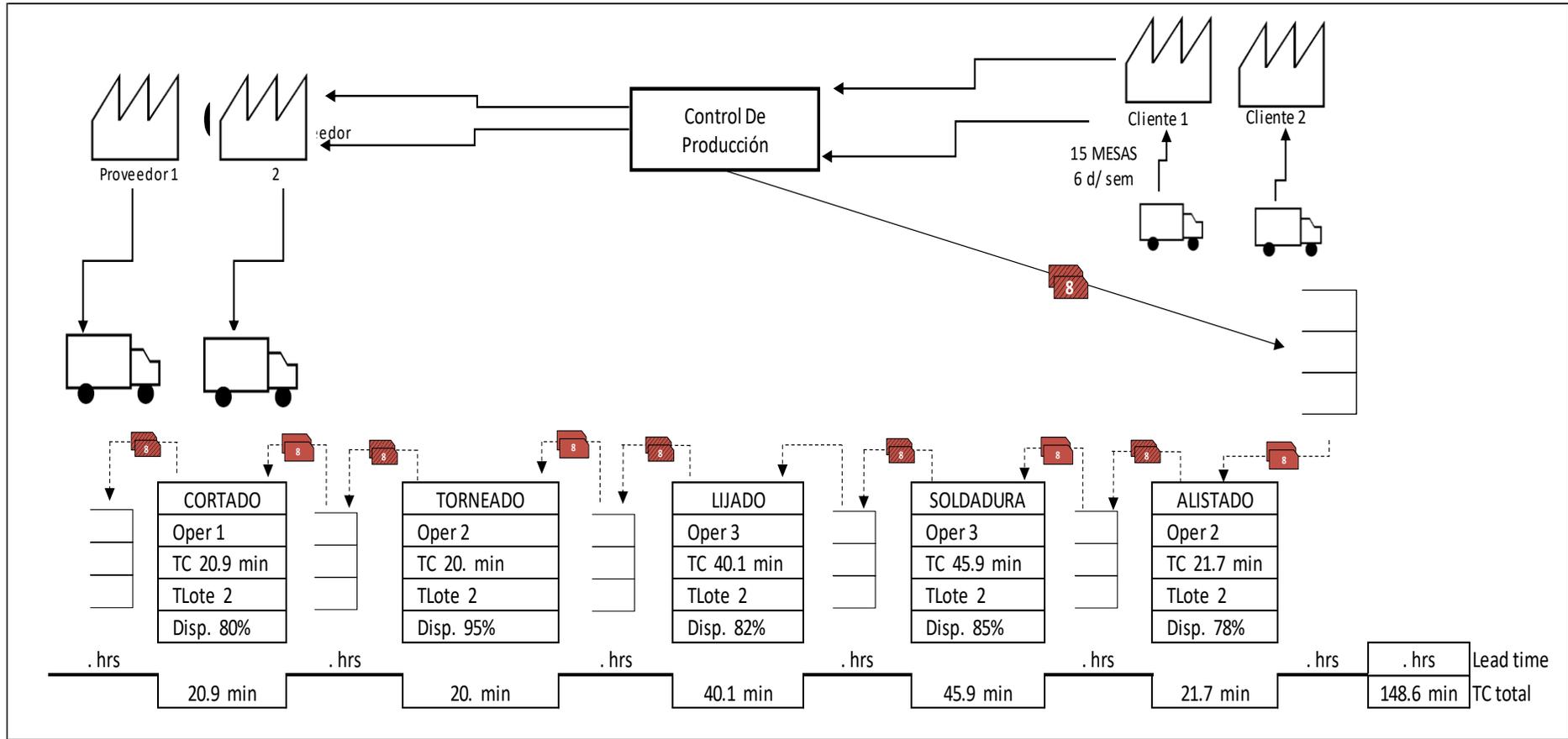


SKU: FFA0115 - MIGHTY						
Día	WIP	SWIP	WIP to SWIP	LC \bar{X}	LCS	LCI
Lunes	7.00	8.00	0.88	0.94	1.01	0.87
Martes	7.00	8.00	0.88	0.94	1.01	0.87
Miércoles	7.00	8.00	0.88	0.94	1.01	0.87
Jueves	8.00	8.00	1.00	0.94	1.01	0.87
Viernes	8.00	8.00	1.00	0.94	1.01	0.87
Sábado	8.00	8.00	1.00	0.94	1.01	0.87



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 07: Mapa De Flujo De Valor (Vsm) - Situación Con Mejora



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 08: Formato para el registro de los equipos

1.- Activo#: _____

2.- Equipo: _____ Modelo#: _____ Plano#: _____ Espec. #: _____

3.- Situación: _____ Fábrica: _____ Planta: _____ Proceso: _____ Registro de movimientos: _____

4.- Fabricante: _____ Fecha fabr. : _____ Fecha instalac.: _____
 Fecha de test: _____ Fecha de arranque: _____

5. Registro de especificaciones de cambios

Fecha	Especificaciones del equipo	Condiciones de operación

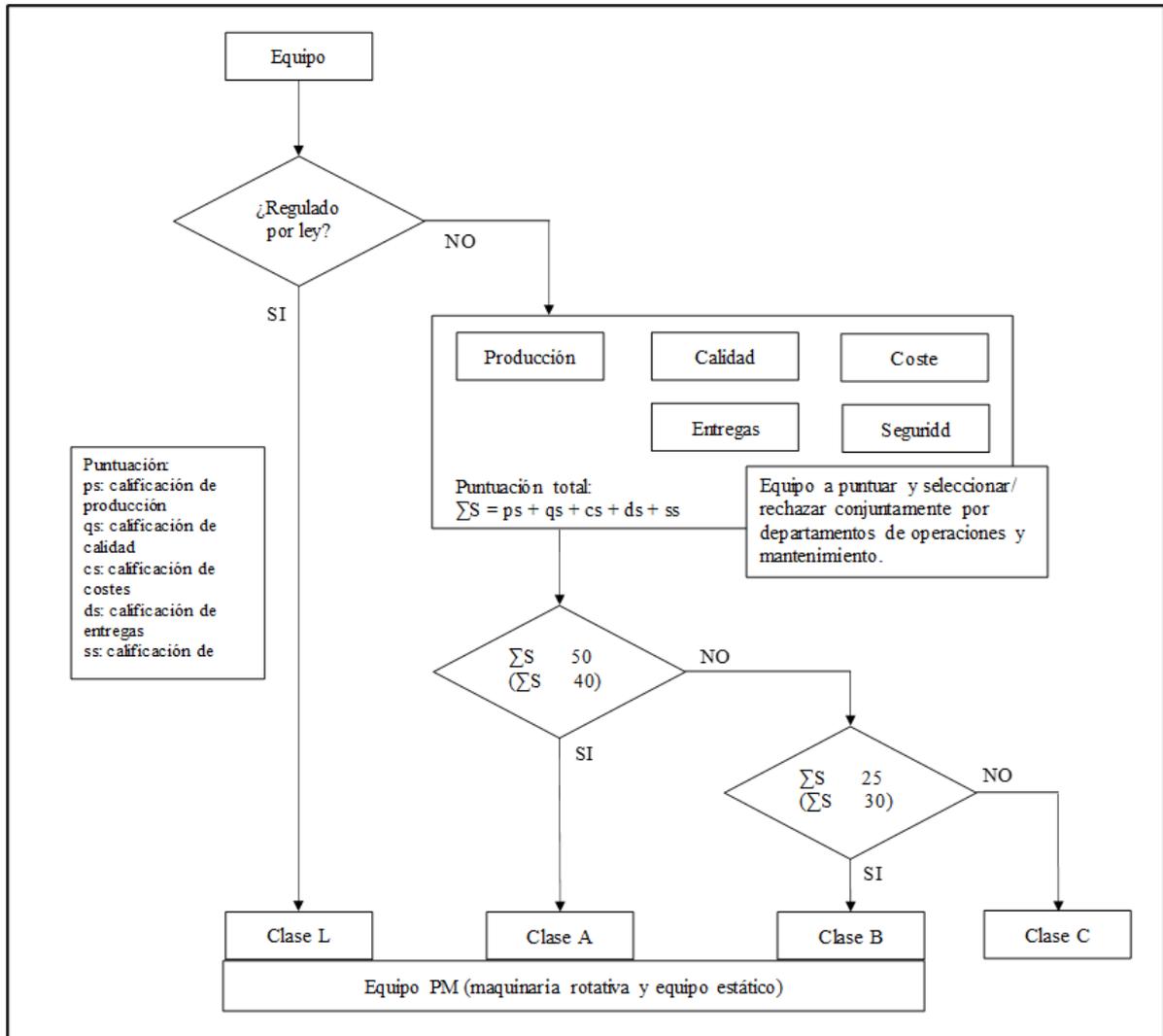
6. Registro de mantenimiento

Fecha	Servicio periódico	Mantenimiento correctivo	Fallos principales

7. Especificaciones del principal equipo auxiliar

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 09: Diagrama de flujo para seleccionar equipos para mantenimiento planificado



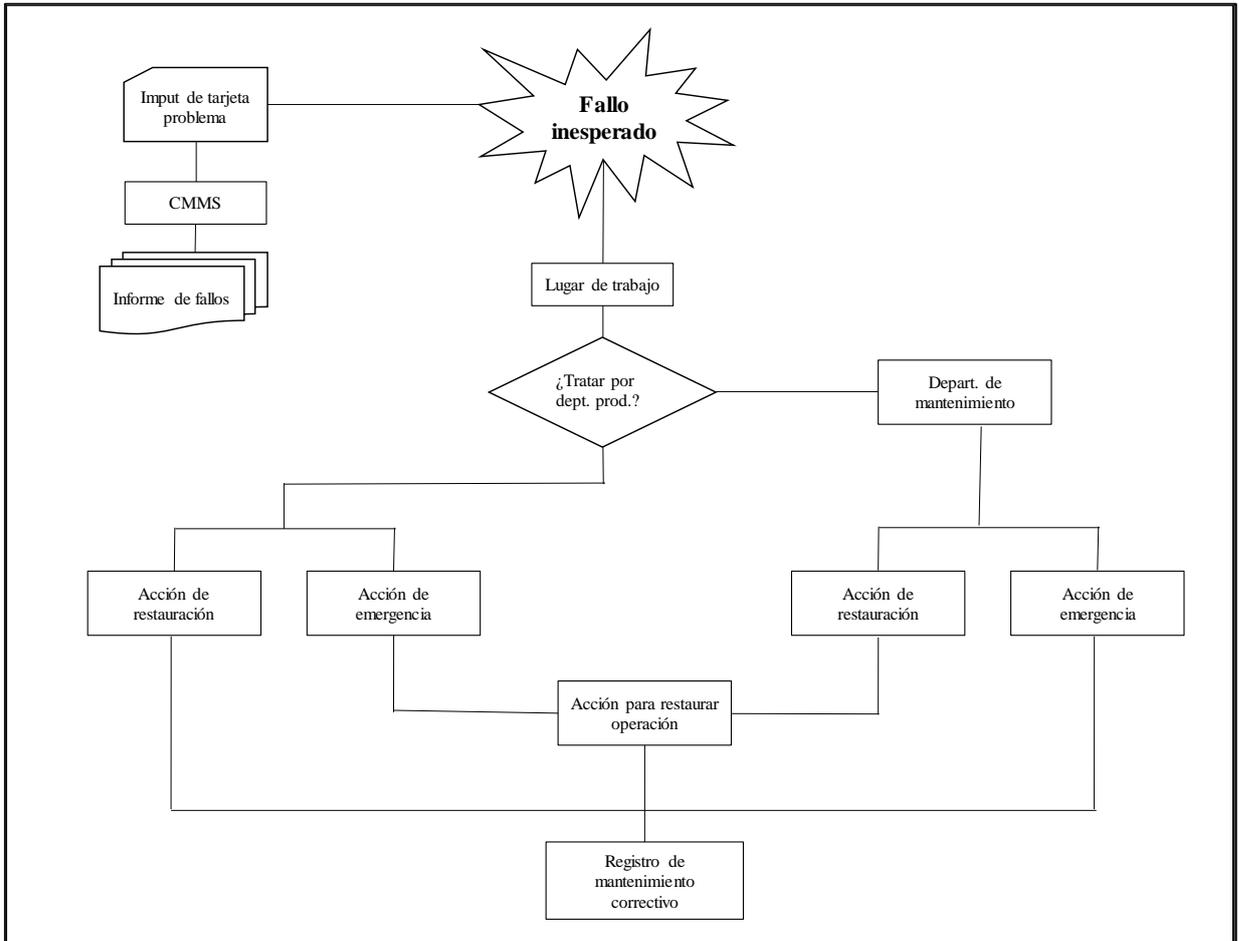
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 10: Formato de informe de fallo inesperado

INFORME DE FALLO INESPERADO N° 005							
Director división : _____				Director división: _____			
Supervisor : _____				Supervisor : _____			
Líder de equipo : _____				Líder de equipo : _____			
Equipo del fallor: <u>Compresor de refrigeración</u>		Modelo N° <u>P-45721</u>		Tiempo total <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>			
Fecha: ____/____/____		Tiempo ____ (min.)					
Fecha: ____/____/____		Tiempo ____ (min.)				(Min.)	
Descripción:							
<p>Se paró el compresor para reemplazar el cierre mecánico. Cuando se hizo arrancar el compresor, se rompió el acoplamiento, de modo que el compresor paró de nuevo.</p> <p>El compresor P-45721 comprime el refrigerante en estado gaseoso elevando su temperatura y presión. Como el mecanismo de estanqueidad mecánico tenía un fuga, se paró el compresor para reemplazarlo después de primeramente conectar el compresor de reserva P-54125. El acoplamiento se rompió cuando se hizo arrancar de nuevo el compresor después de reemplazar el mecanismo de estanqueidad.</p>							
Análisis del fallo: (Causas directas, causas indirectas, causas reales).							
<p>1. El acoplamiento se ha calentado mientras el mecanismo de estanqueidad se estaba reemplazando. El compresor se hizo arrancar después de conectar el acoplamiento al eje de la bomba, que estaba aún caliente.</p> <p>2. No se chequeó el estado del acoplamiento.</p>							
Acción y contramedidas							
<p>1. Precalentar un acopiamiento de repuesto y montarlo cuando la diferencia de temperatura entre él y el eje del compresor esté dentro de un rango especificado.</p> <p>2. Especificar un método para verificar el estado de la unión del acoplamiento después de la instalación, e incluir esto dentro de los estándares de trabajo.</p>							
Acción para evitar fallos similares							
Situación	Equipo	Plan de acción	Acción ejec.	Situación	Equipo	Plan de acción	Acción ejec.
		/	/			/	/
		/	/			/	/
		/	/			/	/
		/	/			/	/
		/	/			/	/

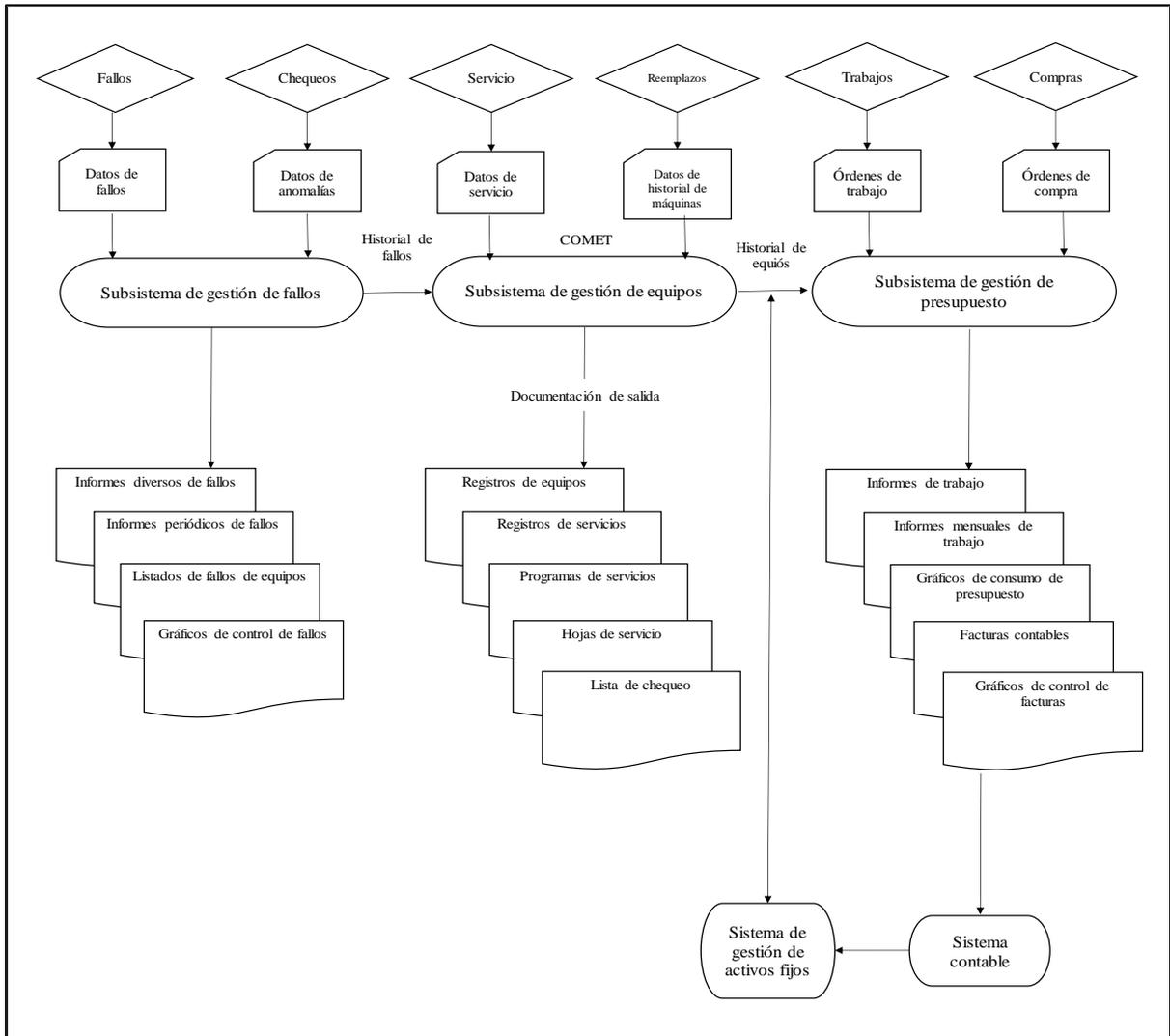
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 11: Diagrama de flujo para evitar repeticiones de fallos inesperados



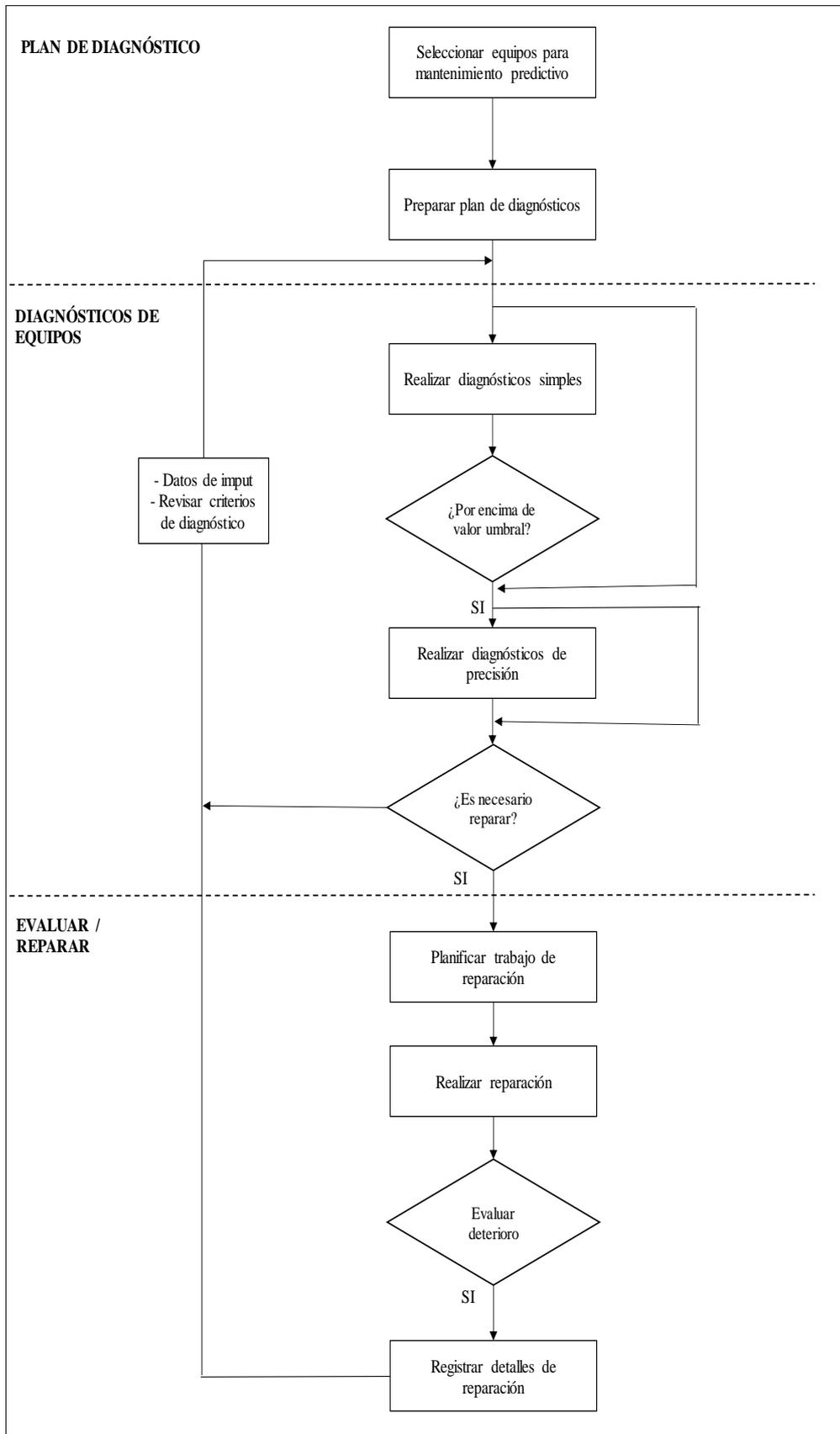
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 12: Diagrama de flujo del sistema de gestión de información del mantenimiento



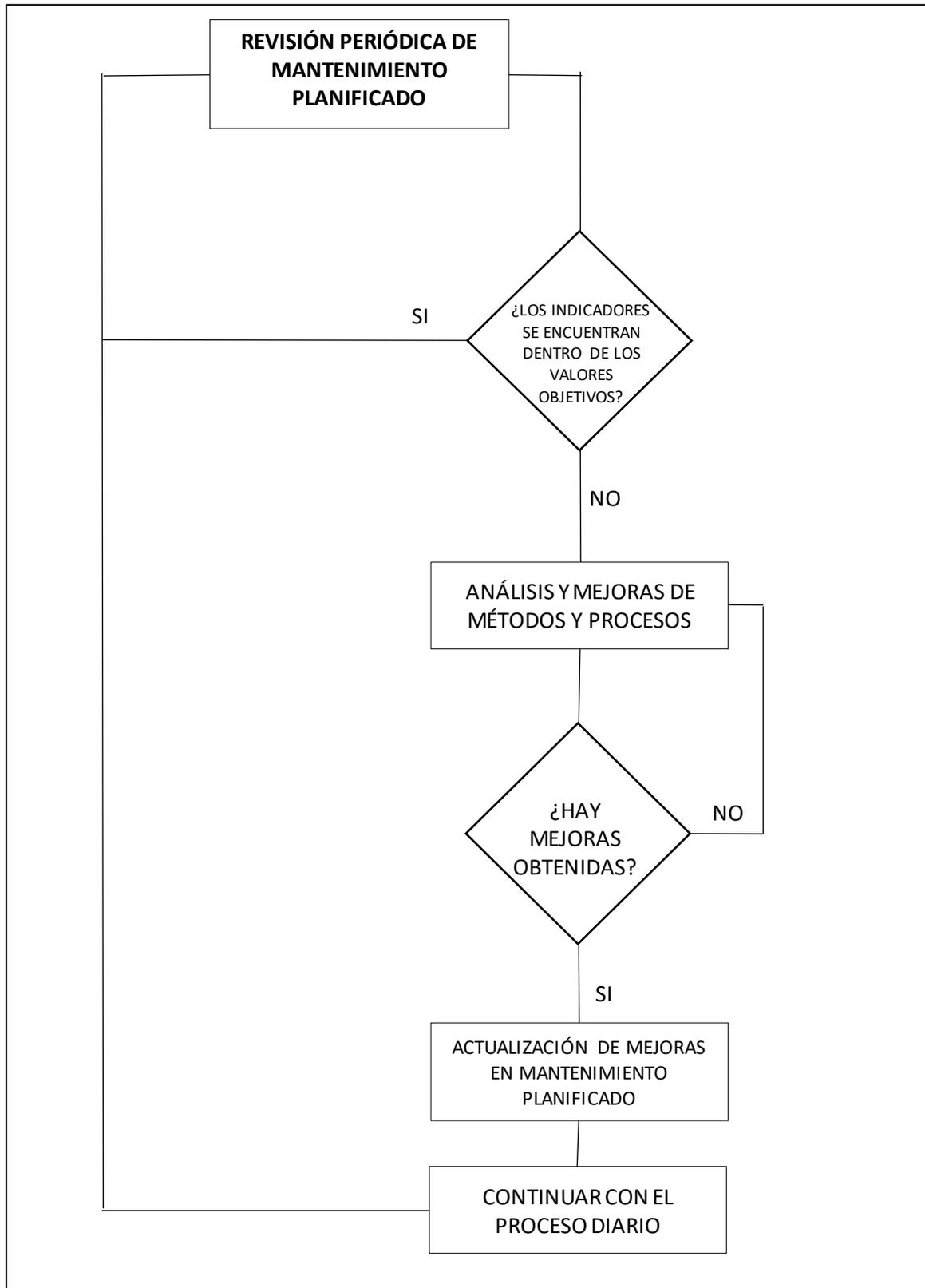
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 14: Diagrama de flujo del sistema de mantenimiento predictivo



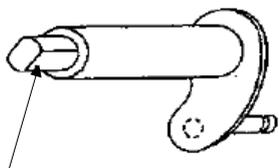
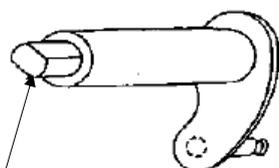
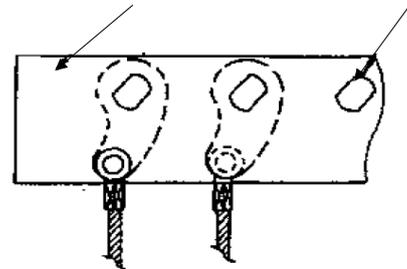
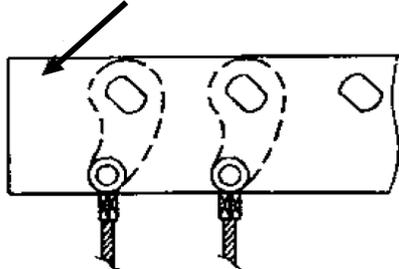
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 15: Diagrama de flujo para revisión periódica de Mantenimiento Planificado



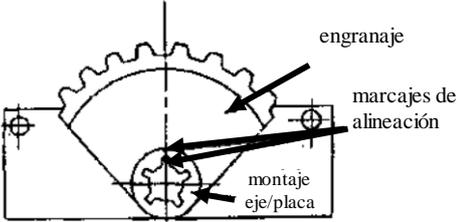
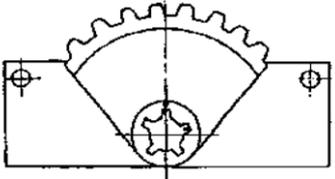
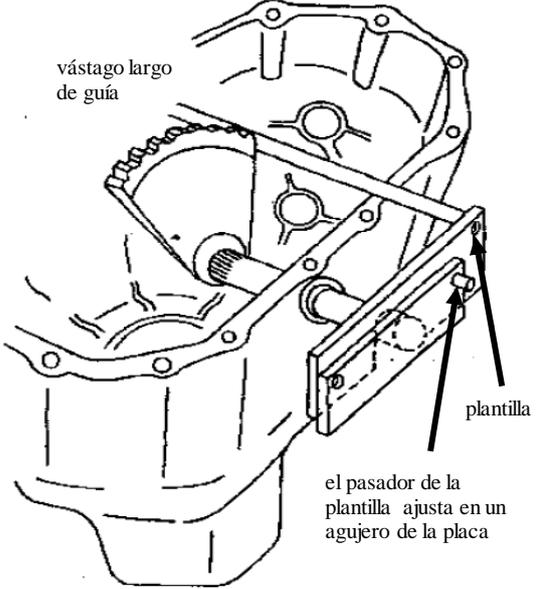
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 16: Formato de diseño de Poka Yoke para montajes de bielas

Proceso: Montaje de subconjuntos ejes-bielas Prevención error: Sí Parada: No Error: Errores en montaje bielas derecha e izquierda en eje Detección error: No Control: Sí Solución: Plantilla mejorada Alarma: No Mejora clave: Plantilla utilizada para garantizar posicionamiento correcto	
Descripción del proceso: las bielas derecha e izquierda para ejes con cables incorporados se montaban en una máquina envasadora	
Antes de mejora	Después de mejora
<p>Aunque los núcleos de montaje para los lados derecho e izquierdo estaban angulados en direcciones diferentes, las bielas tenían una apariencia similar y a veces se colocaban en posición inversa, causando defectos.</p> <p>Conexión eje (derecho)</p>  <p>núcleo para montaje</p> <p>Conexión eje (izquierdo)</p>  <p>ángulo diferente apropiado para eje izquierdo</p>	<p>Las bielas se insertan en plantillas de soporte separadas para ejes a derecha e izquierda de forma que se seleccionan fiablemente al terminar el trabajo de montaje de la máquina envasadora.</p> <p style="text-align: center;"> Pantilla para sostener ejes agujeros </p>  <p style="text-align: center;">Pantilla</p> 

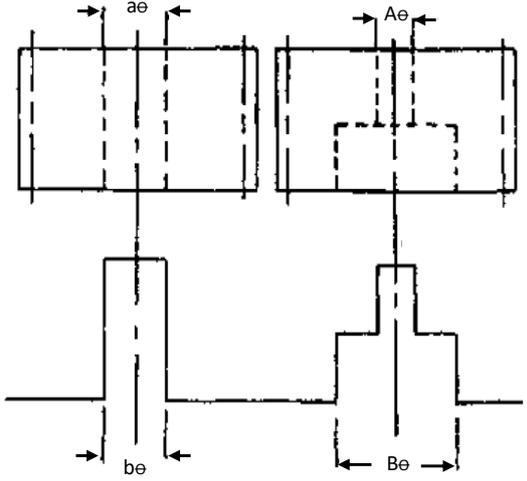
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 17: Formato de diseño de Poka Yoke para montaje de engranajes

Proceso: Montaje de un engranaje en el eje		Prevención error: Sí	Parada: No
Error: Alineación incorrecta de eje y engranaje		Detección error: No	Control: Sí
Solución: La plantilla asegura la alineación correcta			Alarma: No
Mejora clave: Plantilla utilizada para garantizar posicionamiento correcto			
Descripción del proceso: se montaba un engranaje en un montaje de eje y placa en el interior de la caja de transmisiones de la máquina principal UNITEC que emplea servomotores para hacer girar diferentes fajas en el interior. Se punzonaban marcas de alineación en el montaje de eje y engranaje y las mismas deberían alinearse correctamente.			
Antes de mejora		Después de mejora	
<p>En algunas ocasiones ocurrían errores en la alineación de las marcas. Era necesario desmantelar las unidades después de que se habían completado las cajas de transmisiones.</p> <p>Correcto</p>  <p>engranaje marcajes de alineación montaje eje/placa</p> <p>Defectuoso</p>  <p>marcas no alineadas</p>		<p>Se ha construido una plantilla para asegurar que el montaje del eje y el engranaje se alineen correctamente. La plantilla se coloca sobre el eje y se posiciona utilizando uno de los agujeros de la placa. El vástago largo de la plantilla (mostrado en el dibujo) guía el engranaje a lo largo del eje en la orientación correcta.</p>  <p>vástago largo de guía plantilla el pasador de la plantilla ajusta en un agujero de la placa</p>	

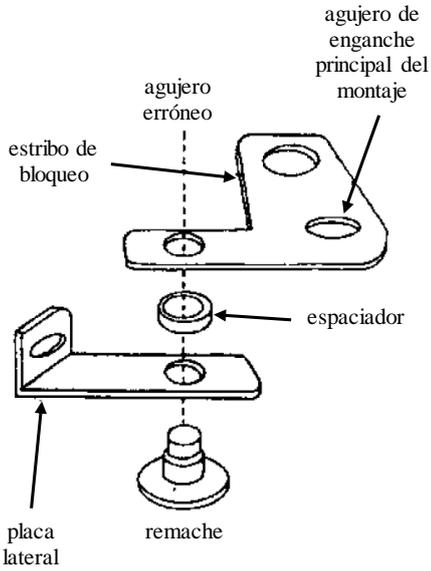
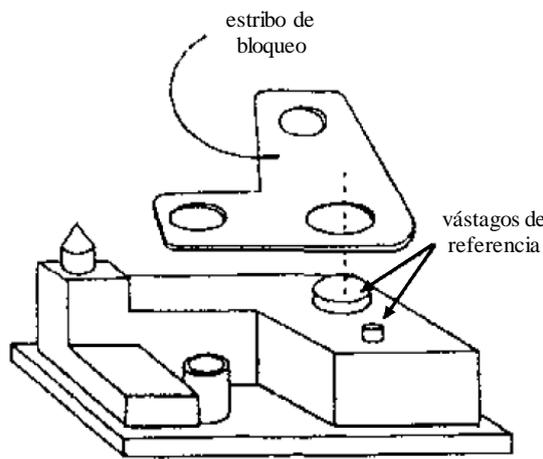
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 18: Formato de diseño de Poka Yoke para distinguir engranajes

Proceso: Montaje de un engranajes	Prevención error: Sí	Parada: No
Error: Confusión entre dos engranajes similares	Detección error: No	Control: Sí
Solución: Cambiar método de montaje y diferenciar los engranajes por el color		Alarma: No
Mejora clave: Pieza modificada para garantizar posicionamiento correcto		
Descripción del proceso: un temporizador se equipaba con un mecanismo de selección de la frecuencia de la línea de energía de forma que podía emplearse en áreas con fuente de potencia de 50 a 60 Hz. Los engranajes para 50 y 60 Hz se instalan cerca el uno del otro en el mismo eje. La única diferencia entre estos dos tipos de engranajes es de tres dientes.		
Antes de mejora	Después de mejora	
<p>Era difícil a ojo los engranajes, y como ajustaban intercambiamente en el eje, se producía a menudo errores de montaje.</p> 	<p>Se ha hecho una pequeña modificación en los agujeros de los engranajes y el eje que se ajusta en los mismos, como se muestra en los dibujos. Adicionalmente, como estos engranajes se hacen de plástico blanco, el engranaje de 50 Hz ahora se hace de plástico blanco y el de 60 Hz de plástico azul, de forma que pueden identificarse de una ojeada. Los errores de instalación se han eliminado completamente.</p> <p style="text-align: center;">engranaje 50 Hz engranaje 60 Hz</p>  <p style="text-align: center;">B_o no encaja en a_e b_o no encaja en A_e</p>	

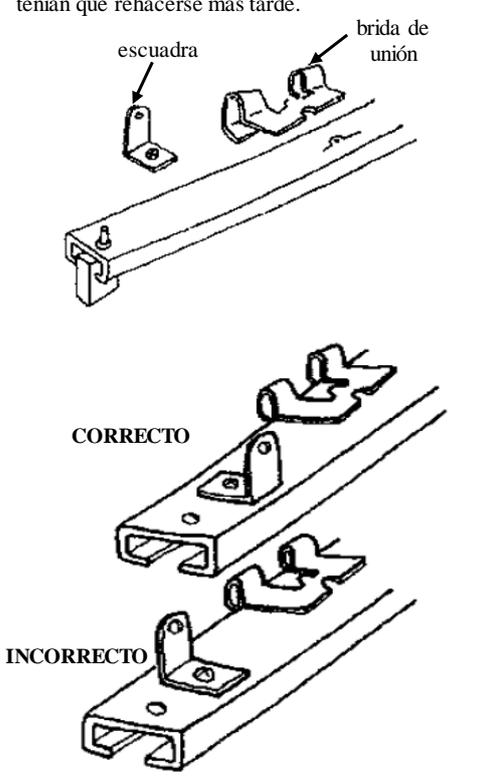
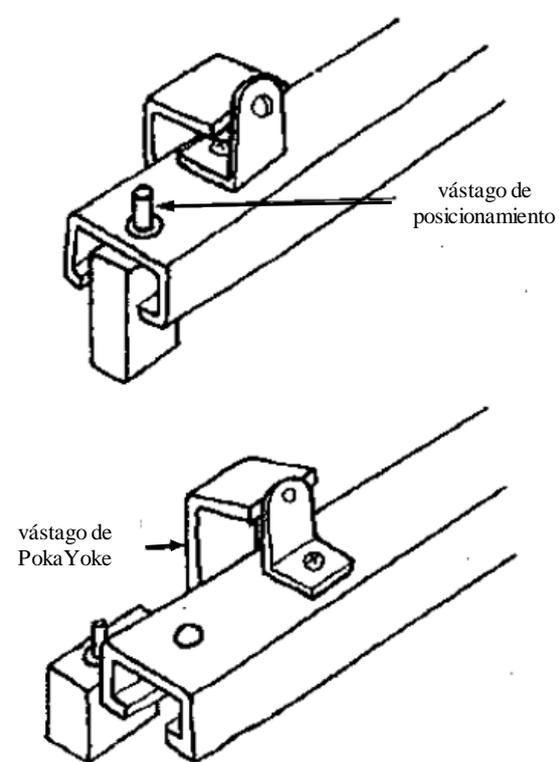
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 19: Formato de diseño de Poka Yoke para montaje de estribos

<p>Proceso: Montaje de estribos de bloqueo forjados Prevención error: Sí Parada: No</p> <p>Error: Montaje de estribos usando agujero equivocado Detección error: No Control: Sí</p> <p>Solución: Uso de vástagos de guía en plantilla para posicionar Alarma: No</p> <p>Mejora clave: Uso de plantilla para garantizar posicionamiento correcto</p>	
<p>Descripción del proceso: placas laterales se fijaban a estribos de bloqueo utilizando un remache y un espaciador.</p>	
Antes de mejora	Después de mejora
<p>Era posible unir la placa lateral al estribo de bloqueo en un agujero erróneo de éste último.</p> 	<p>Se ha diseñado una plantilla con vástagos de referencia para el agujero de enganche del montaje principal y con reborde apropiado para mantener el estribo de bloqueo en la posición apropiada para el montaje. Si la posición de colocación sobre la plantilla es inapropiada, la inserción completa es imposible.</p> 

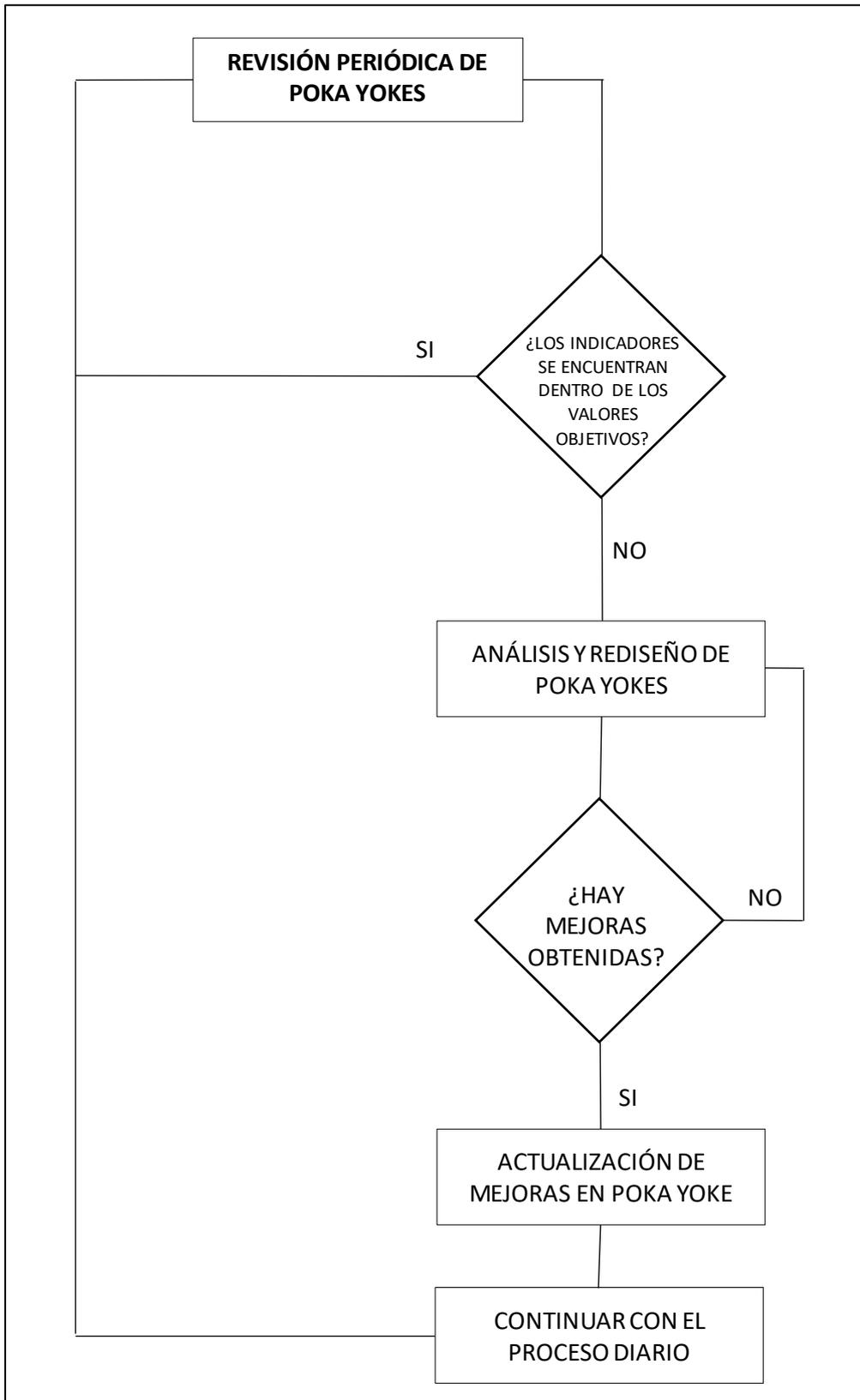
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 20: Formato de diseño de vástagos de Poka Yoke

Proceso: Montaje de piezas de unión		Prevención error: Sí	Parada: No
Error: Piezas de unión montadas en dirección equivocada		Detección error: No	Control: Sí
Solución: Detector para evitar proceso posterior si las piezas están montadas al revés		Alarma: No	
Mejora clave: Plantilla modificada para detectar piezas defectuosas			
Descripción del proceso: las piezas de unión se montaban en travesaños y se soldaban por puntos.			
Antes de mejora		Después de mejora	
<p>Las escuadras y bridas se montaban a veces al revés sobre travesaños. Si estas piezas no se detectaban, podían ensamblarse, conduciendo a defectos que tenían que rehacerse más tarde.</p> 		<p>Se ha instalado un poka yoke de hierro en ángulo en la plantilla del siguiente montaje para identificar claramente los travesaños con escuadras montadas al revés impidiendo que la pieza se asiente en la plantilla.</p> 	

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 21: Procedimiento de mejora continua de Poka Yoke



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 22: Formato empleado para el presupuesto de inversión de Kanban

Nombre o título del proyecto:	PRESUPUESTO PARA IMPLEMENTAR KANBAN																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">FASE DE PLANIFICACIÓN</td> <td style="text-align: right;">S/20,150.00</td> </tr> <tr> <td>FASE DE IMPLEMENTACIÓN</td> <td style="text-align: right;">S/12,922.00</td> </tr> <tr> <td>FASE DE SOSTENIBILIDAD</td> <td style="text-align: right;">S/17,500.00</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">INVERSIÓN TOTAL</td> <td style="text-align: right;">S/50,572.00</td> </tr> </table>		FASE DE PLANIFICACIÓN	S/20,150.00	FASE DE IMPLEMENTACIÓN	S/12,922.00	FASE DE SOSTENIBILIDAD	S/17,500.00	INVERSIÓN TOTAL	S/50,572.00																				
FASE DE PLANIFICACIÓN	S/20,150.00																												
FASE DE IMPLEMENTACIÓN	S/12,922.00																												
FASE DE SOSTENIBILIDAD	S/17,500.00																												
INVERSIÓN TOTAL	S/50,572.00																												
1. PLANIFICACIÓN :																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Concepto del Gasto</th> <th style="text-align: center;">Valor Unitario</th> <th style="text-align: center;">Cantidad</th> <th style="text-align: center;">Valor Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Honorario investigadores</td> <td style="text-align: right;">S/2,500.00</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: right;">S/5,000.00</td> </tr> <tr> <td>Costo de capacitaciones</td> <td style="text-align: right;">S/7,500.00</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: right;">S/7,500.00</td> </tr> <tr> <td>Honorario trabajadores y supervisores</td> <td style="text-align: right;">S/1,500.00</td> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: right;">S/7,500.00</td> </tr> <tr> <td>Material didáctico y útiles</td> <td style="text-align: right;">S/150.00</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: right;">S/150.00</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">S/11,650.00</td> <td></td> <td style="text-align: right;">S/20,150.00</td> </tr> </tbody> </table>		Concepto del Gasto	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total	Honorario investigadores	S/2,500.00	2	S/5,000.00	Costo de capacitaciones	S/7,500.00	1	S/7,500.00	Honorario trabajadores y supervisores	S/1,500.00	5	S/7,500.00	Material didáctico y útiles	S/150.00	1	S/150.00		S/11,650.00		S/20,150.00				
Concepto del Gasto	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total																										
Honorario investigadores	S/2,500.00	2	S/5,000.00																										
Costo de capacitaciones	S/7,500.00	1	S/7,500.00																										
Honorario trabajadores y supervisores	S/1,500.00	5	S/7,500.00																										
Material didáctico y útiles	S/150.00	1	S/150.00																										
	S/11,650.00		S/20,150.00																										
2. IMPLEMENTACIÓN :																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Concepto del Gasto</th> <th style="text-align: center;">Valor Unitario</th> <th style="text-align: center;">Cantidad</th> <th style="text-align: center;">Valor Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Honorario investigadores</td> <td style="text-align: right;">S/2,500.00</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: right;">S/5,000.00</td> </tr> <tr> <td>Honorario trabajadores y supervisores</td> <td style="text-align: right;">S/1,500.00</td> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: right;">S/7,500.00</td> </tr> <tr> <td>Materiales para la intervención</td> <td style="text-align: right;">S/150.00</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: right;">S/150.00</td> </tr> <tr> <td>Impresión de textos de apoyo (fichas técnicas u otros)</td> <td style="text-align: right;">S/147.00</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: right;">S/147.00</td> </tr> <tr> <td>Impresión y circulación de piezas comunicativas y de divulgación</td> <td style="text-align: right;">S/125.00</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: right;">S/125.00</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">S/1,922.00</td> <td></td> <td style="text-align: right;">S/12,922.00</td> </tr> </tbody> </table>		Concepto del Gasto	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total	Honorario investigadores	S/2,500.00	2	S/5,000.00	Honorario trabajadores y supervisores	S/1,500.00	5	S/7,500.00	Materiales para la intervención	S/150.00	1	S/150.00	Impresión de textos de apoyo (fichas técnicas u otros)	S/147.00	1	S/147.00	Impresión y circulación de piezas comunicativas y de divulgación	S/125.00	1	S/125.00		S/1,922.00		S/12,922.00
Concepto del Gasto	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total																										
Honorario investigadores	S/2,500.00	2	S/5,000.00																										
Honorario trabajadores y supervisores	S/1,500.00	5	S/7,500.00																										
Materiales para la intervención	S/150.00	1	S/150.00																										
Impresión de textos de apoyo (fichas técnicas u otros)	S/147.00	1	S/147.00																										
Impresión y circulación de piezas comunicativas y de divulgación	S/125.00	1	S/125.00																										
	S/1,922.00		S/12,922.00																										
3. SOSTENIBILIDAD :																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Concepto del Gasto</th> <th style="text-align: center;">Valor Unitario</th> <th style="text-align: center;">Cantidad</th> <th style="text-align: center;">Valor Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Costos de auditorías</td> <td style="text-align: right;">S/2,500.00</td> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: right;">S/15,000.00</td> </tr> <tr> <td>Finalización o edición registro informe final</td> <td style="text-align: right;">S/2,500.00</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: right;">S/2,500.00</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">S/5,000.00</td> <td></td> <td style="text-align: right;">S/17,500.00</td> </tr> </tbody> </table>		Concepto del Gasto	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total	Costos de auditorías	S/2,500.00	6	S/15,000.00	Finalización o edición registro informe final	S/2,500.00	1	S/2,500.00		S/5,000.00		S/17,500.00												
Concepto del Gasto	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total																										
Costos de auditorías	S/2,500.00	6	S/15,000.00																										
Finalización o edición registro informe final	S/2,500.00	1	S/2,500.00																										
	S/5,000.00		S/17,500.00																										

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 23: Formato empleado para el presupuesto de inversión de SMED

Nombre o título del proyecto:		IMPLEMENTACIÓN SMED	
FASE DE PLANIFICACIÓN	S/20,350.00		
FASE DE IMPLEMENTACIÓN	S/23,140.00		
FASE DE SOSTENIBILIDAD	S/17,500.00		
INVERSIÓN TOTAL	S/60,990.00		
1. PLANIFICACIÓN :			
Concepto del Gasto	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
Honorarios de investigadores	S/2,500.00	2	S/5,000.00
Costo de capacitaciones	S/7,500.00	1	S/7,500.00
Honorarios operadores de máquina y supervisores	S/1,500.00	5	S/7,500.00
Material didáctico y útiles	S/350.00	1	S/350.00
	S/11,850.00		S/20,350.00
2. IMPLEMENTACIÓN :			
Concepto del Gasto	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
Honorario investigadores	S/2,500.00	2	S/5,000.00
Honorario trabajadores y supervisores	S/1,500.00	5	S/7,500.00
Materiales para la intervención	S/250.00	1	S/250.00
Impresión de textos de apoyo (fichas técnicas u otros)	S/215.00	1	S/215.00
Impresión y circulación de piezas comunicativas y de divulgación	S/135.00	1	S/135.00
Insumos para adecuación de espacio (pintura, resane u otro)	S/2,540.00	1	S/2,540.00
Herramientas y acondicionamientos de piezas	S/12,500.00	1	S/12,500.00
	S/17,140.00		S/23,140.00
3. SOSTENIBILIDAD :			
Concepto del Gasto	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
Costos de auditorías	S/2,500.00	6	S/15,000.00
Finalización o edición registro informe final	S/2,500.00	1	S/2,500.00
	S/5,000.00		S/17,500.00

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 24: Formato empleado para el presupuesto de inversión de Mantenimiento

Planificado

Nombre o título del proyecto:		IMPLEMENTACIÓN MANTENIMIENTO PLANIFICADO		
FASE DE PLANIFICACIÓN		S/22,350.00		
FASE DE IMPLEMENTACIÓN		S/8,100.00		
FASE DE SOSTENIBILIDAD		S/11,500.00		
INVERSIÓN TOTAL		S/41,950.00		
1. PLANIFICACIÓN :				
Concepto del Gasto		Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
Honorarios de investigadores		S/2,500.00	2	S/5,000.00
Costo de capacitaciones		S/9,500.00	1	S/9,500.00
Honorarios operadores de máquina y supervisores		S/1,500.00	5	S/7,500.00
Material didáctico y útiles		S/350.00	1	S/350.00
		S/13,850.00		S/22,350.00
2. IMPLEMENTACIÓN :				
Concepto del Gasto		Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
Honorario investigadores		S/8,500.00	2	S/17,000.00
Honorario trabajadores y supervisores		S/1,500.00	5	S/7,500.00
Materiales para la intervención		S/250.00	1	S/250.00
Impresión de textos de apoyo (fichas técnicas u otros)		S/215.00	1	S/215.00
Impresión y circulación de piezas comunicativas y de divulgación		S/135.00	1	S/135.00
		S/2,100.00		S/8,100.00
3. SOSTENIBILIDAD :				
Concepto del Gasto		Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
Costos de auditorías		S/1,500.00	6	S/9,000.00
Finalización o edición registro informe final		S/2,500.00	1	S/2,500.00
		S/4,000.00		S/11,500.00

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 25: Formato empleado para el presupuesto de inversión de Poka Yoke

Nombre o título del proyecto:	IMPLEMENTACIÓN POKA YOKE										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">FASE DE PLANIFICACIÓN</td> <td style="text-align: right;">S/18,450.00</td> </tr> <tr> <td>FASE DE IMPLEMENTACIÓN</td> <td style="text-align: right;">S/23,550.00</td> </tr> <tr> <td>FASE DE SOSTENIBILIDAD</td> <td style="text-align: right;">S/11,500.00</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">INVERSIÓN TOTAL</td> <td style="text-align: right;">S/53,500.00</td> </tr> </table>				FASE DE PLANIFICACIÓN	S/18,450.00	FASE DE IMPLEMENTACIÓN	S/23,550.00	FASE DE SOSTENIBILIDAD	S/11,500.00	INVERSIÓN TOTAL	S/53,500.00
FASE DE PLANIFICACIÓN	S/18,450.00										
FASE DE IMPLEMENTACIÓN	S/23,550.00										
FASE DE SOSTENIBILIDAD	S/11,500.00										
INVERSIÓN TOTAL	S/53,500.00										
1. PLANIFICACIÓN :											
Concepto del Gasto	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total								
Honorarios de investigadores	S/2,500.00	2	S/5,000.00								
Costo de capacitaciones	S/5,600.00	1	S/5,600.00								
Honorarios operadores de máquina y supervisores	S/1,500.00	5	S/7,500.00								
Material didáctico y útiles	S/350.00	1	S/350.00								
	S/9,950.00		S/18,450.00								
2. IMPLEMENTACIÓN :											
Concepto del Gasto	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total								
Honorario investigadores	S/2,500.00	2	S/5,000.00								
Honorario trabajadores y supervisores	S/1,500.00	5	S/7,500.00								
Materiales para la intervención	S/250.00	1	S/250.00								
Impresión de textos de apoyo (fichas técnicas u otros)	S/215.00	1	S/215.00								
Impresión y circulación de piezas comunicativas y de divulgación	S/135.00	1	S/135.00								
Herramientas y acondicionamientos de piezas	S/15,450.00	1	S/15,450.00								
	S/17,550.00		S/23,550.00								
3. SOSTENIBILIDAD :											
Concepto del Gasto	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total								
Costos de auditorías	S/1,500.00	6	S/9,000.00								
Finalización o edición registro informe final	S/2,500.00	1	S/2,500.00								
	S/4,000.00		S/11,500.00								

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 26: Formato empleado para el cálculo del TMAR

CÁLCULO DE LA TASA MÍNIMA ACEPTABLE DE RENDIMIENTO (TMAR)

Año	Inflación acumulada al último día de diciembre	100% + Inflación anual acumulada
2015	4.40	104.40
2016	3.23	103.23
2017	1.36	101.36
2018	2.19	102.19
2019	1.90	101.90
f = inflación media anual =		2.61%

Tipo de riesgo	i = premio al riesgo
Bajo	1 a 10 %
Medio	11 a 20 %
Alto	>20%

Fuente: Baca (2017)

Fuente: Banco Central de Reserva del Perú (2019)

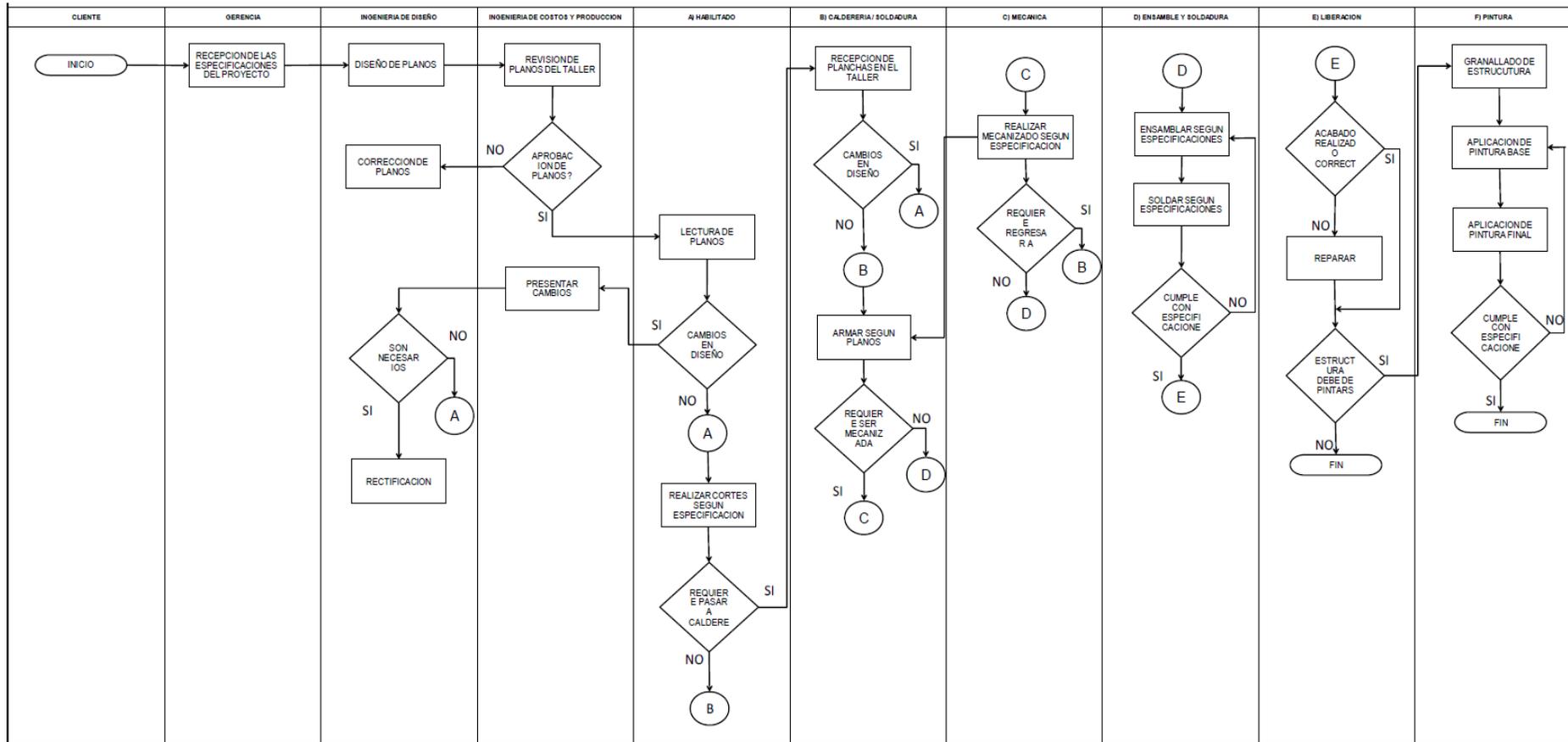
Fórmula: **TMAR = i + f + if**

Fuente: Baca (2017)

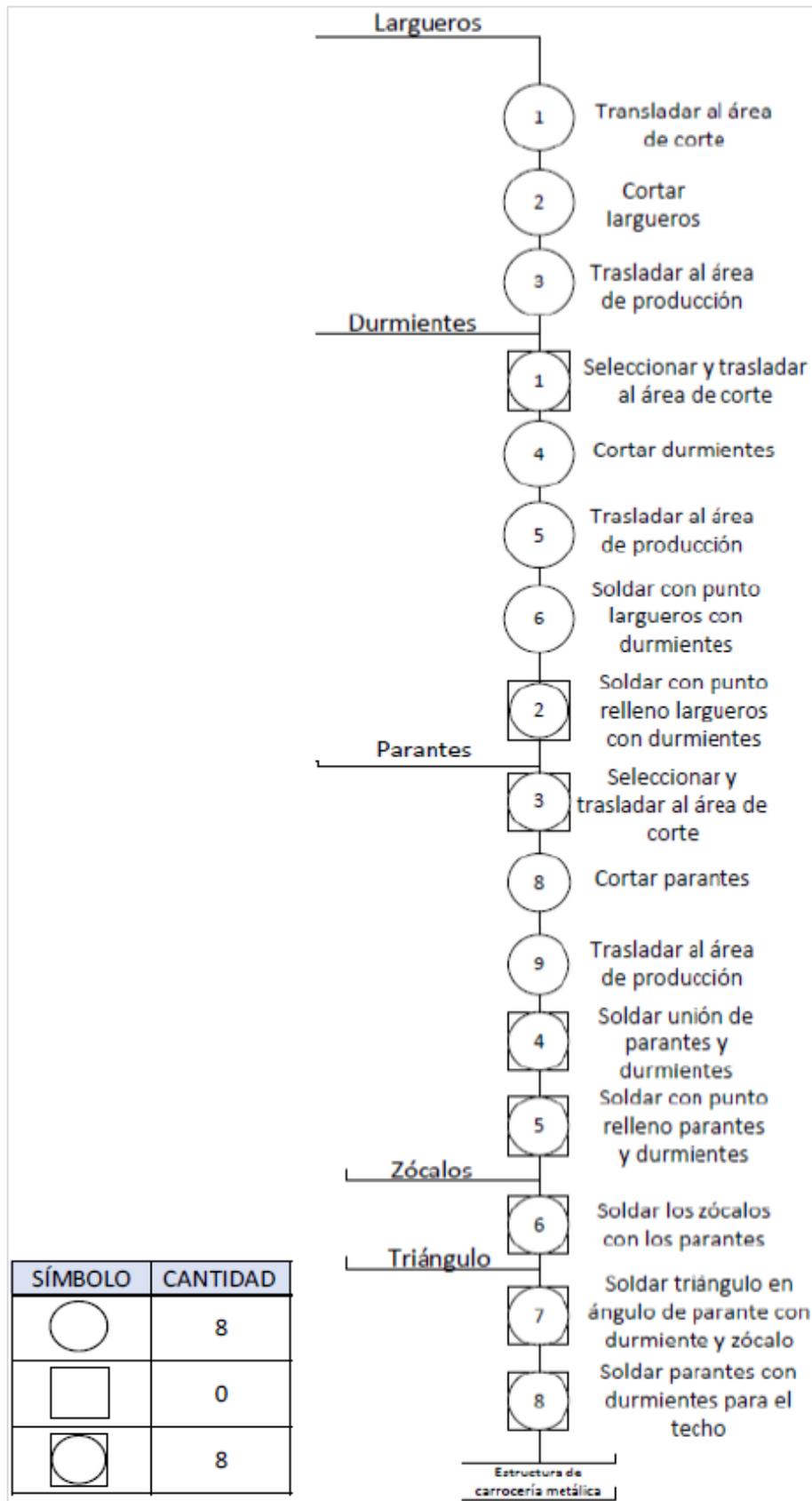
Ítem	Concepto	Valor
i	inflación	2.61%
f	premio al riesgo	20.00%
TMAR	Tasa mínima aceptable de rendimiento	23.13%

Fuente: Elaboración propia

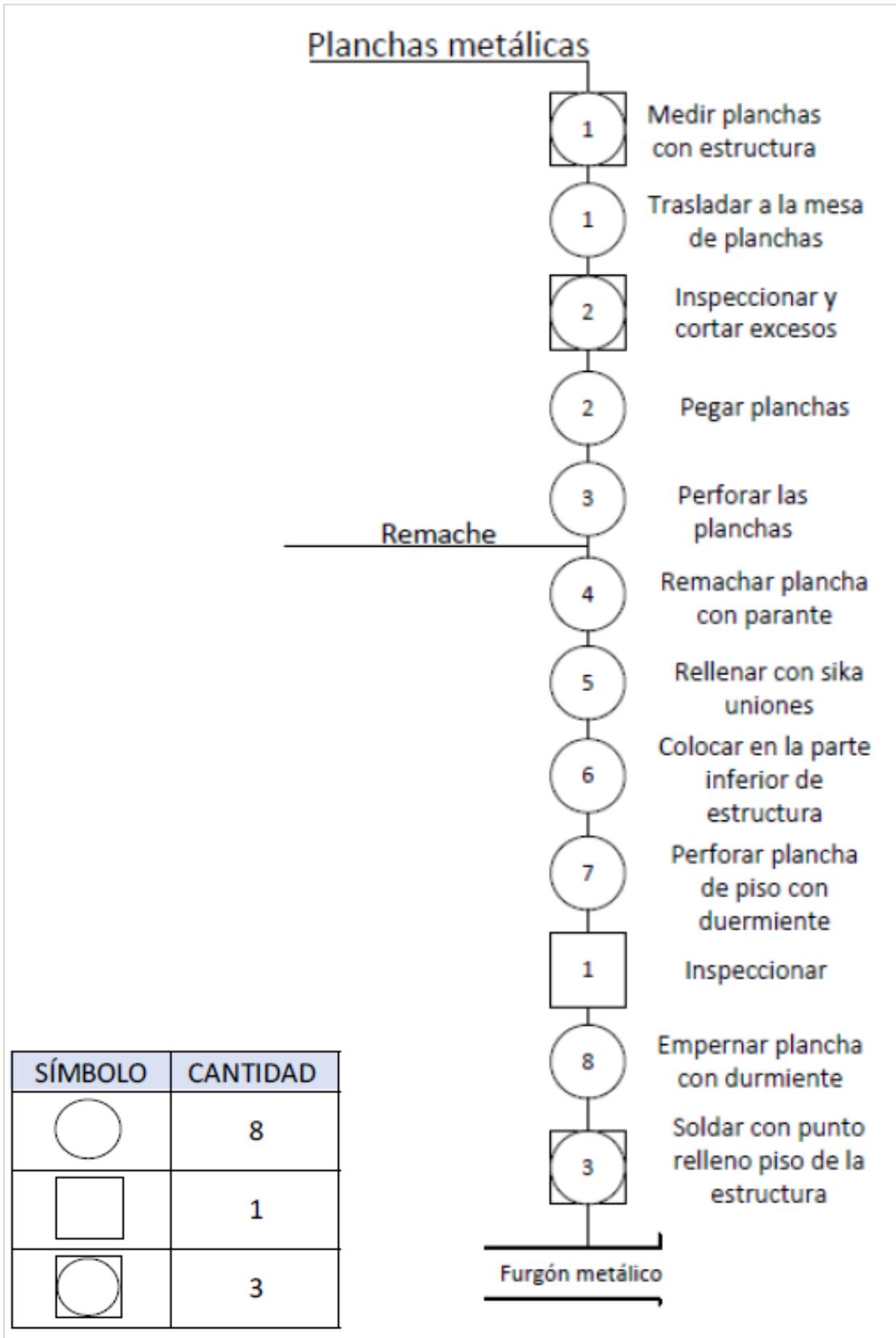
ANEXO 27: Diagrama de Flujo del proceso



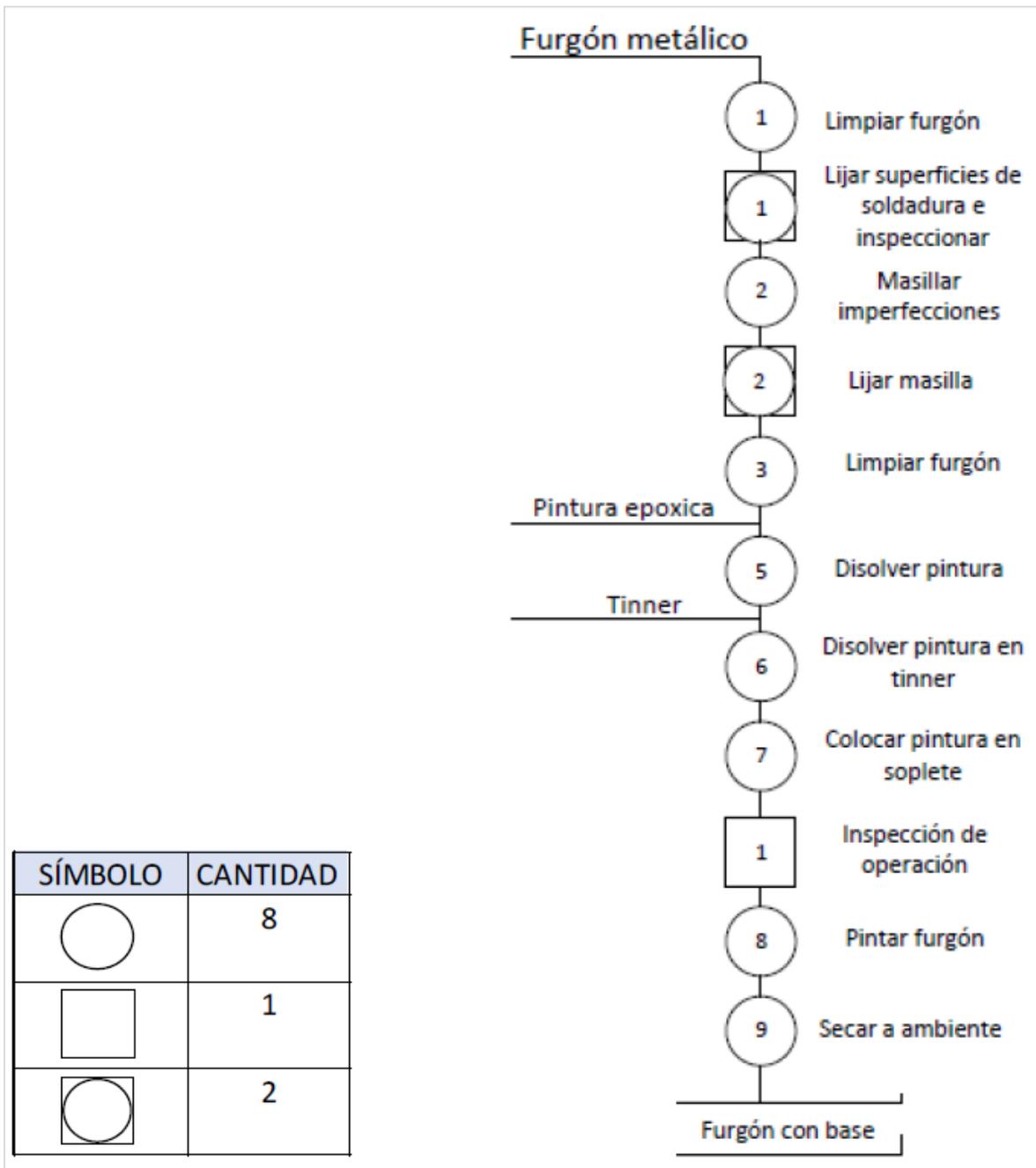
Anexo 28: DOP del proceso de Estructura



Anexo 29: DOP del proceso de Forrado



Anexo 30: DOP del proceso de Pintura



Anexo 31: DOP del proceso de Acabado

