EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

OPCIÓN I. TESIS

TRABAJO PROFESIONAL

"REDUCCIÓN DE INEFICIENCIAS OPERATIVAS EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE MACHETES DE INDUSTRIA METALMECÁNICA"

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRESENTA:

Ing. Israel Paredes Lino

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Fernando Ortiz Flores

ORIZABA, VERACRUZ, MÉXICO. **NOVIEMBRE 2025**

Educación
Secretaría de Educación Pública

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Orizaba, Veracruz, 27/octubre/2025
Dependencia: **División de Estudios de Posgrado e Investigación**
Asunto: **Autorización de Impresión**
OPCION: **I**

C. PAREDES LINO ISRAEL
Candidato(a) a Grado de Maestro(a) en:
INGENIERÍA INDUSTRIAL
PRESENTE

De acuerdo con el reglamento de Titulación vigente de los Centros e Institutos Tecnológicos Federales del Tecnológico Nacional de México, de la Secretaría de Educación Pública, y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

"REDUCCIÓN DE INEFICIENCIAS OPERATIVAS EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE MACHETES DE INDUSTRIA METALMECÁNICA"

Comunico a usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

A T E N T A M E N T E
Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA – TÉCNICA - CULTURA®

OFELIA LANDETA ESCAMILLA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Educación
Secretaría de Educación Pública
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ORIZABA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

OLE/jarh

OG-13-F06

Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Orizaba Veracruz, 20/junio/2025.
Asunto: Revisión de trabajo escrito

C. OFELIA LANDETA ESCAMILLA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
P R E S E N T E.-

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C.:

PAREDES LINO ISRAEL

La cual lleva el título de:

REDUCCIÓN DE INEFICIENCIAS OPERATIVAS EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE MACHETES DE INDUSTRIA METALMECÁNICA

y concluyen que se acepta.

A T E N T A M E N T E
Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA – TÉCNICA - CULTURA®

PRESIDENTE:	DR. FERNANDO ORTIZ FLORES	FIRMA
SECRETARIO:	M.M.A. JORGE LUIS HERNÁNDEZ MORTERA	FIRMA
VOCAL:	DR. OSCAR BAEZ SENTIES	FIRMA
VOCAL SUP.:	DRA. ALICIA AGUEDA CONDE ISLAS	FIRMA

TA-09-F18

Dedicatorias

A Dios

Por permitirme alcanzar esta meta, por acompañarme en cada paso de mi vida, porque sin él nada de esto habría sido posible y todo lo que soy y tengo se lo debo a Él.

A mis padres

Con todo amor, aprecio y gratitud, dedico esta tesis a mis padres, pilares fundamentales en mi vida, Gracias por su apoyo incondicional en cada decisión que he tomado en mi vida, por ser un ejemplo de superación y amor. Este logro no sólo es mío, sino también de ustedes.

Agradecimientos

A Dios, por ser guía en mi vida, por su sabiduría y paciencia, que me brindo para obtener este logro, porque sin el nada habría sido posible. Gracias por permitirme crecer, no sólo como profesional, sino también como ser humano.

A mis padres Concepción y Eduardo, quienes con su amor y sacrificio me han permitido alcanzar este logro. Gracias por creer en mí y por brindarme su apoyo incondicional en cada paso de esta etapa de mi vida.

A mis hermanos Abraham y Guadalupe, por el apoyo incondicional que siempre me han brindado, por motivarme a seguir superándome y por creer en mí. Ver su esfuerzo y superación es para mí una fuente de alegría e inspiración que me impulsa a seguir adelante.

A mi novia Miroslaw, quien me brindo su apoyo y paciencia durante el desarrollo de este proyecto, gracias por creer en mí y brindarme esas palabras de aliento en los días de dificultad, motivándome a creer en mí y nunca rendirme

A mis compañeros de clase, a quienes considero mis amigos, su compañía hicieron que esta etapa fuera una de las mejores de mi vida, les agradezco su apoyo, sus palabras, sus risas y sus enojos, por que hicieron que esta etapa fuera muy divertida y memorable para mí, siempre los he considerado mi generación, porque cada uno de ustedes han contribuido de alguna manera para que este logro sea posible y por eso les estoy muy agradecido.

Al Dr. Fernando Ortiz, quien, por medio de sus consejos, asesorías e insistencias, me apoyo durante el transcurso de la maestría y en el desarrollo de la tesis. Estoy infinitamente agradecido con usted, por su confianza y tiempo que dedico a mi persona.

Al Maestro Jorge Luis, por brindarme sus valiosos consejos durante el transcurso de la maestría, así como por el tiempo y la dedicación que me otorgó para compartir conmigo sus conocimientos y experiencias.

Agradezco a la empresa, por brindarme la oportunidad de completar dos etapas fundamentales de mi formación académica: primero nivel licenciatura y ahora a nivel maestría. Mi gratitud también se extiende todo el personal que, con su confianza y apoyo, me ofreció las facilidades necesarias para el desarrollo de este proyecto.

Resumen

El presente trabajo expone la aplicación de herramientas de *Lean Manufacturing*, particularmente SMED (*Single-Minute Exchange of Die*) y las 5S, con el propósito de reducir las ineficiencias operativas en la línea de producción de machetes de una empresa del sector metalmecánico ubicada en el estado de Veracruz, México. La investigación surgió ante la detección de tiempos prolongados en los cambios de troquel, desorganización en las estaciones de trabajo y acumulación de materiales innecesarios, factores que afectaban la productividad y el aprovechamiento del espacio en planta.

Para abordar esta problemática, se desarrolló una metodología estructurada que incluyó fases de diagnóstico, análisis, aplicación, validación y control. En la etapa de diagnóstico se realizaron recorridos en planta, entrevistas con el personal operativo y mapeo de procesos mediante SIPOC y *Value Stream Mapping* (VSM), identificando causas raíz a través del diagrama de Ishikawa y la matriz de priorización. Posteriormente, se implementaron las 5S para ordenar, clasificar y estandarizar los espacios de trabajo, y SMED para optimizar las actividades de cambio de troquel en prensas.

La investigación demuestra que la integración de herramientas *Lean* permite alcanzar una mayor eficiencia operativa, estandarizar los procesos y fomentar una cultura de mejora continua.

Abstract

This research presents the application of Lean Manufacturing tools, particularly SMED (Single-Minute Exchange of Die) and the 5S methodology, aimed at reducing operational inefficiencies in the machete production line of a metal-mechanic company located in the state of Veracruz, Mexico. The study emerged from the identification of prolonged die changeover times, disorganization in workstations, and the accumulation of unnecessary material, factors that negatively impacted productivity and the efficient use of workspace.

To address these issues, a structured methodology was developed, consisting of the phases of diagnosis, analysis, implementation, validation, and control. During the diagnostic stage, plant walkthroughs, operator interviews, and process mapping were conducted using SIPOC and Value Stream Mapping (VSM), while root causes were identified through the Ishikawa diagram and prioritization matrix. Subsequently, the 5S methodology was implemented to organize, classify, and standardize work areas, and the SMED was applied to optimize die changeover activities in the press machines.

The research demonstrates that the integration of Lean tools enables greater operational efficiency, process standardization, and the promotion of a culture of continuous improvement.

Contenido

Resumen **4**

Abstract **5**

Contenido **6**

Índice de figuras **14**

Índice de tablas **17**

Índice de Anexos **21**

Introducción **22**

Planteamiento del problema 23

Hipótesis 24

Contenido de la tesis 25

Capítulo 1 Antecedentes **26**

1.1 Estado del campo 26

1.1.1 Historia de la manufactura 26

1.1.1.1 Interrelación entre diseño, manufactura y selección de materiales 27

1.1.1.2 Evolución de las herramientas 28

1.1.1.3 Legado de las herramientas manuales 29

1.1.2 Aplicación de *Lean Manufacturing* en la mejora de procesos operativos 29

1.1.3 Aplicación de *Value Stream Mapping* (VSM) en la mejora de procesos operativos 33

1.1.4 Aplicación de *Single-Minute Exchange of Die* (SMED) en la reducción de tiempos de cambios de procesos 35

1.1.5 Aplicación de las 5S en la organización de áreas de trabajo 36

1.1.6 Aplicación de DMAIC para la mejora de procesos operativos 38

1.2 Generalidades de la empresa en estudio 43

1.2.1 Antecedentes 43

1.2.2 Propósito 44

1.2.3 Visión 44
1.2.4 Misión 45
1.2.5 Valores y creencias clave 45
1.2.6 Distribución de la empresa de estudio 46
1.2.7 Organigrama 47
1.2.8 Productos 49
1.2.9 Descripción general del proceso 50
1.3 Objetivos 53
1.3.1 Objetivo General 53
1.3.2 Objetivos específicos 53
1.4 Justificación 53
1.5 Conclusión 54

Capítulo 2 Marco teórico 56

2.1 Panorama de las técnicas de mejora aplicadas 56
2.2 Herramientas de análisis de proceso 57
2.2.1 Diagrama SIPOC: herramienta para mejora de proceso 57
2.2.1.1 Significado del diagrama SIPOC 58
2.2.1.2 Significado de las Siglas SIPOC 58
2.2.1.3 Instrucciones para generar un diagrama SIPOC 59
2.2.1.4 Ventajas del diagrama SIPOC 60
2.2.2 Diagrama de flujo como herramienta de representación de procesos 60
2.2.2.1 Significado del diagrama de flujo 61
2.2.2.2 Simbología de diseño 61
2.2.2.3 Pasos para elaborar un diagrama de flujo 61
2.2.2.4 Ventajas del diagrama de flujo 62
2.2.3 Introducción al *Value Stream Mapping* (VSM) 63
2.2.3.1 Significado de *Value Stream Mapping* (VSM) 63
2.2.3.2 Limitaciones y aplicaciones para usar VSM 64
2.2.3.3 Simbología de un VSM 66
2.2.3.4 Pasos para realizar un VSM 68
2.2.3.5 Datos básicos en la caja de datos de un VSM 70
2.2.4 Histograma 70
2.3 Técnicas para generación de ideas y mejora 71
2.3.1 Luvia de ideas *(Brainstorming)* 71
2.3.1.1 Reglas fundamentales de la lluvia de ideas 72

2.3.1.2 Pasos para realizar una lluvia de ideas ... 72
2.3.1.3 Ventajas y desventajas de la lluvia de ideas ... 73
2.3.2 Método por puntos ... 73
2.3.2.1 Pasos para la aplicación del método por puntos ... 74
2.3.2.2 Ventajas del método por puntos ... 75
2.3.3 Matriz de priorización ... 75
2.3.3.1 Aplicaciones para la matriz de priorización ... 76
2.3.3.2 Método del criterio analítico completo ... 76
2.3.4 Diagrama *Ishikawa* ... 81
2.3.4.1 Factores 6 M´s para el diagrama de *Ishikawa* ... 81
2.3.4.2 Procedimiento para la implementación del diagrama de *Ishikawa* ... 82
2.3.4.3 Ventaja y desventajas del diagrama *Ishikawa* ... 83
2.4 Herramientas para el estudio de métodos y tiempos ... 83
2.4.1 Estudio de métodos ... 83
2.4.1.1 Simbología utilizada para la elaboración del diagrama de flujo de proceso ... 84
2.4.1.2 Diagrama de flujo de proceso ... 84
2.4.2 Estudio de tiempos ... 86
2.4.2.1 Método continuo ... 86
2.4.2.2 Método repetitivo ... 87
2.5 Cálculo del número de observaciones ... 88
2.6 Prueba de hipótesis ... 89
2.6.1 Prueba t para muestras independientes ... 89
2.6.2 Prueba t para muestras dependientes ... 92
2.7 Técnicas de Lean Manufacturing ... 96
2.7.1 Las 5S ... 96
2.7.1.1 *Seiri* (Clasificar) ... 97
2.7.1.2 *Seiton* (Ordenar) ... 98
2.7.1.3 *Seiso* (Limpiar) ... 99
2.7.1.4 *Seiketsu* (Estandarizar) ... 100
2.7.1.5 *Shitsuke* (Diciplina) ... 101
2.7.2 SMED ... 102
2.7.2.1 Objetivos de SMED ... 103
2.7.2.2 Etapas de aplicación de la técnica SMED ... 103
2.7.2.3 Razones para implementar SMED ... 105
2.7.2.4 Ventajas y desventajas de SMED ... 106

2.8 Conclusión 106

Capítulo 3 Aplicación 107

3.1 Metodología 107

3.2 Diagnosticar la situación actual del área de producción 108

3.2.1 Realizar entrevistas con gerente de manufactura y jefe de ingeniería 108

3.2.2 Realizar recorridos al área de producción de la empresa 109

3.2.3 Realizar entrevistas a los supervisores 109

3.2.4 Realizar entrevistas al personal operativo 111

3.2.5 Agrupar inquietudes por cada línea de producción 113

3.3 Seleccionar área piloto: línea de producción para el desarrollo del proyecto 113

3.3.1 Identificar factores mediante la técnica de lluvia de ideas 115

3.3.2 Definir línea de producción con el método por puntos 115

3.4 Recolectar datos en el área piloto: línea de producción de machetes 119

3.4.1 Analizar la distribución del área piloto: línea de producción de machetes 119

3.4.1.1 Área 1: proceso inicial 119

3.4.1.2 Área 2: proceso de acabado 122

3.4.1.3 Área 3: proceso de inyección de plástico 123

3.4.2 Elaborar diagrama SIPOC del área piloto: línea de producción de machetes 123

3.4.2.1 Identificar proveedores (S) 124

3.4.2.2 Detallar entradas o recursos necesarios (I) 125

3.4.2.3 Describir proceso principal (P) 125

3.4.2.4 Especificar salidas o productos finales (O) 127

3.4.2.5 Identificar clientes o destinatarios (C) 127

3.4.2.6 Elaborar el diagrama SIPOC 128

3.5 Elaborar VSM de la situación actual del área piloto 129

3.5.1 Selección de la familia de productos a mapear en línea de machetes 129

3.5.2 Identificación de productos de la familia estrella 131

3.5.3 Identificación de ruta de proceso de la familia estrella 134

3.5.3.1 Identificación y secuenciación de procesos de fabricación 134

3.5.3.2 Representación gráfica del flujo de producción 136

3.5.3.3 Descripción de procesos 136

3.5.4 Selección de indicadores 139

3.5.5 Cálculo de indicadores 140

3.5.6 Elaboración del mapa del estado actual 144

3.5.7 Análisis del mapa del estado actual 146

3.6 Seleccionar área de oportunidad: proceso de la línea de machetes 148

3.6.1 Selección de áreas de oportunidad mediante una matriz de priorización 148
3.6.2 Justificación de la elección del proceso seleccionado 152
3.7 Determinar indicadores que afectan la productividad 153
3.8 Evaluar Indicadores 154
3.8.1 Medición del espacio ocupado por elementos innecesarios 155
3.8.1.1 Evaluación inicial del uso del espacio 155
3.8.1.2 Registro de observaciones 156
3.8.1.3 Interpretación de datos recopilados 157
3.8.1.4 Desarrollo del *Layout* actual de cada subárea 157
3.8.2 Medición del tiempo de cambio de bandas para lijadoras 160
3.8.2.1 Determinación de acciones durante el proceso de cambio de bandas, en lijadoras 160
3.8.2.2 Medición de tiempos preliminares 161
3.8.2.3 Cálculo de número de ciclo óptimos 162
3.8.2.4 Medición de tiempos de los ciclos faltantes 163
3.8.3 Medición del tiempo de cambio de troquel, de prensas 164
3.8.3.1 Determinación de acciones durante el proceso de cambio de troquel, en presas 164
3.8.3.2 Medición de tiempos preliminares 166
3.8.3.3 Cálculo de números de ciclos óptimos 168
3.8.3.4 Medición de tiempos de los ciclos faltantes 169
3.9 Identificar causas raíz de los indicadores 169
3.9.1 Identificar causas raíz del indicador "*espacio ocupado por elementos innecesarios*" 169
3.9.2 Identificar causas raíz del indicador *"tiempo de preparación de lijadoras"* 171
3.9.3 Identificar causas raíz del indicador "tiempo de preparación de prensas" 173
3.10 Seleccionar técnicas de *Lean Manufacturing* para mejorar indicadores 174
3.10.1 Agrupación de causas de las 6 M´s a través de un diagrama de afinidad 175
3.10.2 Elaboración de diagrama relacional y clasificación de causas claves y secundarias 176
3.10.3 Integración de propuestas de solución y de técnicas de *Lean Manufacturing* factibles de aplicar 178
3.10.4 Determinación del orden de implementación de técnicas de *Lean Manufacturing* 180
3.11 Aplicar las 5S en la organización del área de trabajo 182
3.11.1 Desarrollo de un diagnóstico inicial 182
3.11.2 Impartición de capacitación al personal operativo 184
3.11.3 Elaboración de formatos de apoyo para la aplicación de las 5S 187
3.11.4 Repartición de áreas para implementación 191
3.11.5 Aplicación de *Seiri* (Clasificar) 192
3.11.6 Aplicación de *Seiton* (Ordenar) 193
3.11.7 Aplicación de *Seiso* (Limpiar) 196
3.11.8 Aplicación de *Seiketsu* (Estandarizar) 197

3.11.9 Aplicación de *Shitsuke* (Disciplina) 198
3.12 Proponer la implementación de SMED para reducción de tiempos de cambio de bandas para lijadoras 200
3.12.1 Fase preliminar: Identificación de actividades internas y externas del cambio de bandas 200
3.12.1.1 Creación de listado de actividades de cambio de banda 201
3.12.1.2 Elaboración de diagrama de flujo del proceso de cambio de banda 201
3.12.1.3 Identificación de actividades internas y externas del proceso de cambio actual 202
3.12.1.4 Cálculo de porcentajes de contribución de las actividades de preparación 203
3.12.2 Fase 1: Separación de actividades internas y externas del cambio de bandas 205
3.12.2.1 Identificación y separación de actividades internas y externas en cambio de bandas. 205
3.12.2.2 Elaboración de lista de verificación para controlar y ejecutar las actividades del cambio de bandas 206
3.12.3 Fase 2: Conversión de actividades internas en externas del cambio de bandas 206
3.12.4 Fase 3: Mejoramiento de actividades del cambio de bandas 210
3.12.4.1 Mejoramiento de actividades internas 210
3.12.4.2 Mejoramiento de actividades externas 212
3.12.5 Fase 4: Presentación de resultados al jefe de ingeniería 214
3.13 Implementar SMED para reducción de tiempos de cambio de troquel, de prensas 215
3.13.1 Fase preliminar: Identificación de actividades internas y externas para cambio de troquel 215
3.13.1.1 Elaboración de diagrama de flujo del proceso de cambio de banda 216
3.13.1.2 Identificación de actividades internas y externas del proceso de cambio actual 218
3.13.1.3 Cálculo de porcentajes de contribución de las actividades de preparación 218
3.13.2 Fase 1: Separación de actividades internas y externas para el cambio de troquel 220
3.13.2.1 Identificación y separación de actividades internas y externas para cambio de troquel 221
3.13.2.2 Elaboración de una lista de verificación para controlar y ejecutar las actividades del cambio de troquel 222
3.13.3 Fase 2: Conversión de actividades internas en externas del cambio troquel para prensas 223
3.13.4 Fase 3: Mejoramiento de actividades del cambio de troquel 225
3.13.4.1 Mejoramiento de actividades internas 225
3.13.4.2 Mejoramiento de actividades externas 234
3.13.5 Fase 4: Presentación de resultados al jefe de ingeniería 234
3.14 Medir indicadores después de la mejora 236
3.14.1 Medición del espacio ocupado por elementos innecesarios después de la mejora 236
3.14.1.1 Optimización del espacio tras la aplicación de las 5S 237
3.14.1.2 Interpretación de datos recopilados 237
3.14.2 Medición del tiempo de cambio de troquel de prensas, después de implementar SMED 241

3.14.2.1 Medición del tiempo de cambio de troquel de prensas, después de implementar SMED 242

3.14.2.2 Interpretación de datos recopilados 244

3.15 Validar estadísticamente las mejoras 246

3.15.1 Validación del área disponible en línea de machetes tras la aplicación de las 5S, utilizando una prueba t para muestras dependientes 246

3.15.1.1 Validación del área disponible de la mejora en el área 1: proceso inicial 246

3.15.1.2 Validación del área disponible de la mejora en el área 2: proceso de acabado 251

3.15.2 Validación del área disponible de la mejora en el área 3: proceso de inyección de plástico 256

3.15.3 Verificación de la mejora en el tiempo de cambio de troquel en el área de prensas, tras la aplicación de SMED, mediante una prueba t para dos muestras independientes 258

3.16 Controlar los resultados obtenidos 264

3.17 Conclusión 267

Capítulo 4 Resultados 269

Discusión 269

Productos académicos 271

Conclusiones y recomendaciones 272

Conclusiones 272

Recomendaciones 273

Fuentes de información 275

Anexo 1 Evaluación de criterios 279

Anexo 2 Registro de observaciones 282

A2.1 Formatos de área 1: Proceso inicial 282

A2.2 Formatos de área 2: Proceso de acabado 283

A2.3 Formatos de área 3: Proceso de inyección de plásticos 285

Anexo 3 *Layout* de objetos innecesarios, materiales y maquinaria 286

A3.1 Formatos de área 1: Proceso inicial 286

A3.2 Formatos de área 2: Proceso de acabado 288

A3.3 Formatos de área 3: Proceso de inyección de plástico 290

Anexo 4 *Layout* de materiales y maquinaria 292

A4.1 Formatos de área 1: Proceso inicial 292

A4.2 Formatos de área 2: Proceso de acabado 293
A4.3 Formatos de área 3: Proceso de inyección de plásticos 294

Índice de figuras

Figura 1.1. Distribución del departamento de producción de la empresa en estudio. 46
Figura 1.2. Organigrama de Gerente de Manufactura. 48
Figura 1.3. Organigrama del departamento de ingeniería. 48
Figura 1.4. Organigrama del departamento de planta. 49
Figura 1.5. Diagrama de flujo de proceso del machete. 51
Figura 2.1. Panorama de las técnicas de mejora utilizadas en la empresa en estudio. 57
Figura 2.2. Ejemplo de Diagrama SIPOC. 59
Figura 2.3. Pasos 1 al 5 para elaborar un VSM. 68
Figura 2.4. Pasos 6 al 10 para elaborar un VSM. 69
Figura 2.5. Pasos 11 al 15 para elaborar un VSM. 69
Figura 2.6. Luvia de ideas. 71
Figura 2.7. Diagrama Ishikawa. 82
Figura 2.8. Procedimiento de identificación de elementos. 98
Figura 2.9. Criterios de implementación. 99
Figura 2.10. Ciclo de implementación de Seiso. 100
Figura 2.11. Factores de disciplina e indisciplina. 102
Figura 3.1. Posibles factores para la evaluación de la línea de producción. 116
Figura 3.2. Distribución de maquinaria en el área 1 del proceso inicial. 120
Figura 3.3. Distribución de maquinaria en el área 2 del proceso de acabado. 122
Figura 3.4. Distribución de maquinaria en el área 3 del proceso de inyección de plástico. 123
Figura 3.5. Diagrama de flujo del área piloto: línea de machetes. 126
Figura 3.6. Histograma de volúmenes de producción por familia en la línea de machetes. 131
Figura 3.7. Ruta del proceso de la familia estrella. 136
Figura 3.8. Primera parte del VSM en su estado actual. 145
Figura 3.9. Segunda parte del VSM en su estado actual. 145
Figura 3.10. Toma de muestras. a) Con flexómetro. b) Con láser. 155
Figura 3.11. Falta de zonas designadas para elementos. 156
Figura 3.12. Parte móvil del troquel. a) vista isométrica inferior. b) vista isométrica posterior. 165
Figura 3.13. Parte fija del troquel. a) vista superior/frontal. b) vista isométrica inversa. 165
Figura 3.14. Diagrama de Ishikawa para el indicador “espacio ocupado por elementos innecesarios”. 170
Figura 3.15. Diagrama de Ishikawa para el indicador “tiempo de preparación de lijadoras”. 172
Figura 3.16. Diagrama de Ishikawa para el indicador “tiempo de preparación de prensas”. 174

Figura 3.17. Diagrama relacional. 177
Figura 3.18. Evidencia de la situación actual en las áreas de la línea de producción de machetes. 184
Figura 3.19. Examen para capacitación de las 5S. a) vista frontal del examen b) vista posterior del examen. 185
Figura 3.20. Evidencia de armado de un lego. 186
Figura 3.21. Evaluación a la capacitación por parte de los operarios. 186
Figura 3.22. Trabajadores aplicando Seiri. 193
Figura 3.23. Antes y después de la aplicación Seiri. 194
Figura 3.24. Áreas con mayor desorganización (a) empaque (b) inyección de plásticos. 194
Figura 3.25. Estante para inyección de plásticos. 195
Figura 3.26. Rack para empaque. 196
Figura 3.27. Aplicación de Seiton (a) antes y (b) después. 196
Figura 3.28. Trabajadores aplicación de Seiso. 197
Figura 3.29. Fases para la implementación de SMED. 200
Figura 3.30. Sistema de sujeción de puerta (a) no hay sistema de sujeción (b) palanca rota. 208
Figura 3.31. Sistema de sujeción ideal (a) apertura (b) cierre. 209
Figura 3.32. Seguro de fijación de manubrio (a) vista frontal (b) vista frontal/derecha. 209
Figura 3.33. Propuesta de nuevo sistema de fijación (a) apertura, (b) cierre. 209
Figura 3.34. Fases para la implementación de SMED. 215
Figura 3.35. Forma para retirar tornillería de troqueles en prensas (a) troquel móvil (b) troquel fijo. 228
Figura 3.36. Retiro de tornillería posterior de troquel (a) forma manual (b) uso de llave con palanca. 229
Figura 3.37. Desatornillador neumático para aflojar la tornillería. 230
Figura 3.38. Sistema de accionamiento de elevador (a) accionamiento por pedal (b) accionamiento por palanca. 230
Figura 3.39. Altura de las uñas del elevador (a) a nivel del troquel móvil (b) a nivel del troquel fijo. 230
Figura 3.40. Altura de elevación de troquel (a) nivel de la mesa (b) nivel del suelo. 231
Figura 3.41. Uso de montacargas para subir o bajar el troquel (a) troquel a nivel del suelo (b) troquel a nivel de la mesa. 232
Figura 3.42. Colocación de troquel con montacargas en mesa de prensas. 232
Figura 3.43. Traslado de troquel a centro de maquinados (a) troquel móvil (b) troquel fijo. 232
Figura 3.44. Carga de troquel mediante montacargas. 233
Figura 3.45. Traslado de troquel al área de prensas. 233
Figura 3.46. Aplicación de SMED en cambio de troquel en prensas. 236
Figura 3.47. Reducción del área no útil (a) y aumento del área disponible (b) en el área 1: proceso inicial. . 239
Figura 3.48. Reducción del área no útil (a) y aumento del área disponible (b) en el área 2: proceso de acabado. 240
Figura 3.49. Reducción del área no útil (a) y aumento del área disponible (b) en el área 3: proceso inyección de plástico. 241

Figura 3.50. Evolución del tiempo de cambio tras la aplicación de SMED. 245
Figura 3.51. Evolución de la tasa de salida tras la aplicación de SMED. 245
Figura 3.52. Región de rechazo en la prueba de hipótesis en el área 1: proceso inicial. 251
Figura 3.53. Diferencia en el área disponible en área 1: proceso de inicio..... 251
Figura 3.54. Región de rechazo en la prueba de hipótesis en el área 2: proceso de acabado. 255
Figura 3.55. Diferencia en el área disponible en área 2: proceso de proceso. 256
Figura 3.56. Diferencia en el área disponible en área 3: proceso inyección de plástico. 257
Figura 3.57. Región de rechazo de la prueba de hipótesis. 262
Figura 3.58. Comparación de tiempo de cambio de troquel por turno. 264
Figura 3.59. Comparación de tiempo de cambio de troquel por mes. 264

Índice de tablas

Tabla 2.1. Simbología para un Diagrama de flujo. 62
Tabla 2.2. Limitaciones para el uso del VSM. 65
Tabla 2.3. Relación de iconos de materiales. 66
Tabla 2.4. Relación de iconos de proceso. 67
Tabla 2.5. Relación de iconos de información. 67
Tabla 2.6. Ventajas y desventajas de la lluvia de ideas. 73
Tabla 2.7. Tabla de método por puntos. 74
Tabla 2.8. Evaluación de cada criterio. 78
Tabla 2.9. Matriz evaluando cada opción con base al criterio 3. 78
Tabla 2.10. Llenado de matriz de priorización. 79
Tabla 2.11. Multiplicación de la importancia relativa total por la contribución total de cada criterio. 80
Tabla 2.12. Matriz de priorización final. 80
Tabla 2.13. Ventajas y desventajas del diagrama Ishikawa. 84
Tabla 2.14. Simbología para elaboración de diagrama de flujo de proceso. 85
Tabla 2.15. Diagrama de flujo de trabajo adaptado de. 85
Tabla 2.16. Formato para el llenado de tiempos por el método continuo. 87
Tabla 2.17. Formato para el llenado de tiempos por el método repetitivo. 88
Tabla 2.18. Tabla t-Student. 92
Tabla 2.19. Tabla t-Student. 95
Tabla 2.20. Etapas de las 5S. 97
Tabla 2.21. Ventajas y desventajas de la técnica SMED. 106
Tabla 3.1. Áreas de oportunidad en cada línea de producción 110
Tabla 3.2. Áreas de oportunidad en línea de limas, cucharas y palas por supervisores. 111
Tabla 3.3. Áreas de oportunidad en línea de limas y palas, expresadas por su personal operativo. 112
Tabla 3.4. Áreas de oportunidad en línea de palas y machetes, expresadas por su personal operativo. 113
Tabla 3.5. Agrupación de inquietudes para cada línea de producción de la planta en estudio. 114
Tabla 3.6. Factores prioritarios para la evaluación de las líneas de producción. 117
Tabla 3.7. Asignación de puntajes a los factores prioritarios. 118
Tabla 3.8. Escala para definir que tan bien la línea de producción cumple con los factores prioritarios. 118
Tabla 3.9. Método por puntos para la selección del área piloto en la empresa en estudio. 118
Tabla 3.10. Descripción de la maquinaria en el área 1: proceso inicial. 121
Tabla 3.11. Descripción de maquinaria en el área 2 del proceso de acabado. 122
Tabla 3.12. Descripción de maquinaria en el área 3 del proceso de inyección de plástico. 123
Tabla 3.13. Tabla de proveedores del área piloto. 124

Tabla 3.14. Diagrama SIPOC de línea de machetes. 128
Tabla 3.15. Listado de referencias más producidas en el área piloto: área de machetes; y volumen acumulado. 130
Tabla 3.16. Familias de producto en el área piloto. 131
Tabla 3.17. Información técnica del machete caguayano 1173-27". 132
Tabla 3.18. Información técnica del machete caguayano 1173-24". 132
Tabla 3.19. Información técnica del machete acapulqueño 905-27". 133
Tabla 3.20. Información técnica del machete acapulqueño 905-24". 133
Tabla 3.21. Información técnica del machete recto 460-24". 134
Tabla 3.22. Secuencia de maquinaria de productos de la familia estrella. 135
Tabla 3.23. Producción mensual de machetes de familia estrella. 143
Tabla 3.24. Indicadores de VSM. 143
Tabla 3.25. Resultado de evaluación de cada criterio. 149
Tabla 3.26. Priorización con base en el criterio A. 150
Tabla 3.27. Registro de porcentajes por criterio y procesos. 151
Tabla 3.28. Matriz de priorización final. 152
Tabla 3.29. División de áreas en el proceso de producción. 156
Tabla 3.30. Registro de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 1: cortadora laser. 157
Tabla 3.31. Distribución de superficie de subáreas de la línea de producción de machetes. 158
Tabla 3.32. Clasificación de objetos según su aporte al proceso productivo. 158
Tabla 3.33. Layout de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 1: Cortadora láser. 159
Tabla 3.34. Tiempos preliminares de cambio de banda para lijadora. 162
Tabla 3.35. Cálculos para ciclos óptimos para lijadoras. 163
Tabla 3.36. Medición de tiempos de los ciclos faltantes, ... 164
Tabla 3.37. Tiempos preliminares de cambio de troquel. 167
Tabla 3.38. Cálculos para ciclos óptimos para prensas. 168
Tabla 3.39. Diagrama de afinidad de causas para el factor "**mano de obra**". 175
Tabla 3.40. Diagrama de afinidad de causas para el factor "**método**". 175
Tabla 3.41. Diagrama de afinidad para el factor "**maquinaria**". 175
Tabla 3.42. Diagrama de afinidad para el factor "**medio ambiente**". 176
Tabla 3.43. Diagrama de afinidad para el factor "**materia prima**". 176
Tabla 3.44. Diagrama de afinidad para el factor "**medición".** 176
Tabla 3.45. Grupos que afectan a los indicadores. 177
Tabla 3.46. Técnicas de mejora para solución a causas clave. 179
Tabla 3.47. Técnicas de mejora para solución a causas secundarias. 179
Tabla 3.48. Priorización de técnicas Lean Manufacturing según su peso relativo y frecuencia. 181
Tabla 3.49. Clasificación de observaciones mediante los principios de las 5S. 183
Tabla 3.50. Reporte de aplicación de las 5S. 187

Tabla 3.51. Layout: actual y esperado. 188
Tabla 3.52. Códigos de colores de seguridad. 189
Tabla 3.53. Plan de almacenaje de residuos peligrosos. 190
Tabla 3.54. Lista de chequeo para las 5S. 198
Tabla 3.55. Diagrama de flujo de cambio de bandas. 202
Tabla 3.56. Identificación de actividades internas y externas. 203
Tabla 3.57. Porcentajes de contribución de cambio de banda en lijadoras. 204
Tabla 3.58. Separación de actividades internas y externas. 205
Tabla 3.59. Lista de verificación de actividades de cambio de banda. 206
Tabla 3.60. Separación actualizada de actividades internas y externas. 210
Tabla 3.61. Comentario y propuestas de mejora para actividades internas. 212
Tabla 3.62. Comentario y propuestas de mejora para actividades externas. 213
Tabla 3.63. Diagrama de flujo de cambio de troquel de prensas. 216
Tabla 3.64. Identificación de actividades internas y externas (a) actividades de la 1 a la 16 (b) actividades de la 17-32. 218
Tabla 3.65. Porcentajes de contribución de la actividad 1 a la 16 para cambio de troquel en prensas. 219
Tabla 3.66. Porcentajes de contribución de la actividad 17 a la 32 para cambio de troquel en prensas. 219
Tabla 3.67. Separación de actividades internas y externas. 221
Tabla 3.68. Lista de verificación de actividades de cambio de troquel en prensas. 222
Tabla 3.69. Separación actualizada de actividades internas y externas. 226
Tabla 3.70. Diagrama de afinidad de actividades internas. 227
Tabla 3.71. Comentario y propuestas de mejora para actividades externas. 235
Tabla 3.72. Medición de espacio después de la mejora. 237
Tabla 3.73. Optimización del espacio en el área 1: proceso inicial, comparación antes y después de las 5S. 238
Tabla 3.74. Optimización del espacio en el área 2: proceso de acabado, comparación antes y después de las 5S. 239
Tabla 3.75. Optimización del espacio en el área 3: proceso de inyección de plástico, comparación antes y después de las 5S 241
Tabla 3.76. Tiempo de actividades externas en el cambio de troquel, después de implementar SMED. 242
Tabla 3.77. Tiempo de actividades internas en el cambio de troquel, después de implementar SMED. 242
Tabla 3.78. Comparativo de tiempos en el cambio de troquel. 244
Tabla 3.79. Área disponible de subáreas antes y después de las 5S. 247
Tabla 3.80. Tabla de t-Student para 6 grados de libertad. 249
Tabla 3.81. Área disponible de la Área 2: proceso de acabado, antes y después de las 5S. 252
Tabla 3.82. Tabla de t-Student para 3 grados de libertad. 254
Tabla 3.83. Área disponible de subárea antes y después de las 5S. 257
Tabla 3.84. Tiempos de cambio de troquel en prensas antes y después de SMED. 258
Tabla 3.85. Tabla de t-Student para 10 grados de libertad. 261

Tabla 3.86. Impacto de SMED en tiempo de cambio de troquel. 263
Tabla 3.87. Formato para monitoreo de las 5S. 265
Tabla 3.88. Verificación de actividades de cambio de troquel en prensas. 266

Índice de Anexos

Tabla A1.1. Priorización de las alternativas de disposición con base en el criterio B. 279
Tabla A1.2. Priorización de las alternativas de disposición con base en el criterio C. 280
Tabla A1.3. Priorización de las alternativas de disposición con base en el criterio D. 280
Tabla A1.4. Priorización de las alternativas de disposición con base en el criterio E. 281

Tabla A2.1. Registro de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 1: Laminador. 282
Tabla A2.2. Registro de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 1: Prensas. 283
Tabla A2.3. Registro de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 2: Bancos de madera. 284
Tabla A2.4. Registro de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 2: Lacado. 284
Tabla A2.5. Registro de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 3: Inyección de plásticos. 285

Tabla A3.1. Layout de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 2: Laminador. 287
Tabla A3.2. Layout de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 3: Prensa. 288
Tabla A3.3. Layout de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 8: Bancos de madera. 289
Tabla A3.4. Layout de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 9: Lacado. 290
Tabla A3.5. Layout de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 1: Inyección de plásticos. 291

Tabla A4.1. Medición de espacio después de la mejora subárea: laminador. 292
Tabla A4.2. Medición de espacio después de la mejora subárea: prensas. 293
Tabla A4.3. Medición de espacio después de la mejora subárea: bancos de madera. 294
Tabla A4.4. Medición de espacio después de la mejora subárea: lacado. 294
Tabla A4.5. Medición de espacio después de la mejora subárea: inyección de plásticos. 295

Introducción

Las empresas del sector metalmecánico enfrentan de forma constante el reto de optimizar sus procesos productivos para mantener su competitividad en un entorno cada vez más exigente. Entre los principales desafíos que enfrentan se encuentran la reducción de los tiempos de preparación durante los cambios de referencia y la eliminación de desperdicios en las áreas de trabajo. Estos aspectos son fundamentales para mejorar la eficiencia operativa, incrementar la productividad y reducir los costos de producción. Cuando los tiempos de cambio de referencia son elevados, se generan periodos de inactividad en los equipos, demoras en el cumplimiento de pedidos y pérdida de capacidad útil. Por otro lado, el desorden, la acumulación de objetos innecesarios y la falta de estandarización provocan ineficiencias que impactan negativamente en el flujo del proceso y en el uso de los recursos disponibles.

En este contexto, cada vez más empresas buscan soluciones estructuradas y metodológicas que les permitan resolver estas problemáticas de forma sistemática y sostenible. Metodologías como *Lean Manufacturing*, en conjunto con herramientas como SMED y las 5S, han demostrado ser eficaces para reducir tiempos improductivos, eliminar desperdicios, estandarizar procesos y fomentar una cultura de mejora continua. La correcta implementación de estas técnicas permite identificar las causas raíz de los problemas operativos y aplicar soluciones prácticas que contribuyen a alcanzar niveles más altos de calidad, eficiencia y seguridad en las operaciones.

La presente tesis se desarrolla a partir de una problemática identificada en la línea de producción de machetes de una empresa metalmecánica[1], que, a pesar de contar con una trayectoria consolidada en la manufactura de herramientas manuales, la incorporación de una nueva línea de machetes evidenció diversas ineficiencias, entre las que destacan los tiempos

[1] *Por confidencialidad no se menciona el nombre real de la empresa.*

prolongados de cambio de troquel, la desorganización en las estaciones de trabajo y la acumulación de materiales innecesarios.

Ante esta situación, se planteó el desarrollo de un proyecto de mejora enfocado en aplicar herramientas de *Lean Manufacturing*, con el fin de reducir los tiempos de cambio de referencia y mejorar la organización en el área de trabajo. En particular, se emplearon las herramientas de las 5S para ordenar, clasificar, limpiar y estandarizar los espacios, y SMED para optimizar las actividades de cambio de troquel en prensas. Estas herramientas se integraron en una metodología que consideró fases de diagnóstico, análisis, aplicación, validación estadística y control de resultados.

El objetivo principal de este trabajo fue demostrar que la aplicación de herramientas de *Lean Manufacturing* permiten reducir tiempos de cambio y aumentar el espacio disponible en la línea de producción de machetes. Para ello, se realizaron recorridos al área, entrevistas con operadores y supervisores, mapeo de procesos mediante SIPOC y VSM, análisis de causas raíz a través de diagramas de Ishikawa y evaluación cuantitativa de indicadores clave antes y después de las mejoras. Finalmente, se validaron los resultados mediante pruebas estadísticas, comprobando la efectividad de las herramientas implementadas.

Esta tesis no sólo representa una aplicación práctica de conceptos teóricos, sino que también busca servir como una guía metodológica para otras empresas del sector que enfrenten retos similares en sus líneas de producción. Al promover el uso de herramientas estructuradas de mejora continua, se contribuye al fortalecimiento de la cultura organizacional, al uso más eficiente de los recursos y al incremento de la competitividad en el ámbito industrial.

Planteamiento del problema

La empresa en estudio es una empresa del sector metalmecánico que se especializa en la fabricación de limas de diversos tipos. Su planta se encuentra en la zona centro del estado de Veracruz, México.

La empresa ha evolucionado a lo largo del tiempo, ampliando su oferta de productos. Un ejemplo de esto es que, en 2022, incorporó una nueva línea de machetes, cuya implementación ha presentado algunos desafíos que la empresa busca minimizar para garantizar su pleno funcionamiento y éxito.

Con base en esta premisa, se llevó a cabo una junta con el gerente de planta y el ingeniero del departamento de Ingeniería, en la cual se expresó el deseo de implementar técnicas de *Lean Manufacturing* con el objetivo de hacer el proceso más organizado, limpio y seguro, además de incorporar mejoras. Asimismo, se realizaron recorridos y pláticas con los trabajadores de la línea para comprender el proceso y determinar si existían problemas que afectaran el cumplimiento de dos objetivos principales: a) reducción de problemas en la línea de machetes, y b) posibilidad de aplicar técnicas de *Lean Manufacturing*.

A partir de los resultados obtenidos, de recorridos y pláticas, se identificó una problemática: ineficiencias operativas en la línea de machetes; que se alinea con los objetivos de la empresa, ya que se observó que los equipos presentan un nivel considerable de suciedad, el suelo está frecuentemente sucio, hay áreas donde el aceite puede causar resbalones, los objetos personales no se guardan en sus lugares designados, y los tiempos de preparación para ajustes o cambios de referencia son prolongados.

Considerando estas problemáticas, se concluyó que era factible implementar técnicas de *Lean Manufacturing* como las 5´S, para organizar eficientemente los espacios de trabajo; estandarización de procesos para eliminar o reducir desperdicios; y mantenimiento autónomo, para que el personal de la línea pueda detectar problemas en sus fases iniciales, y SMED para acortar los tiempos de cambio de máquina.

Hipótesis

Con base en que se buscan resultados favorables para la empresa en estudio, se ha determinado seguir la siguiente premisa:

Reducción de ineficiencias operativas en línea de producción de machetes de la empresa en estudio utilizando técnicas de *Lean Manufacturing*.

Contenido de la tesis

El contenido de la presente tesis está dividido en los siguientes capítulos:

1. **Capítulo uno.** Presenta una descripción general de la empresa objeto de estudio, incluyendo sus características principales, elementos estratégicos, así como la logística relacionada con la producción y distribución en planta.
2. **Capítulo dos**. Expone de manera teórica los fundamentos y características de las herramientas y técnicas de ingeniería industrial empleadas en este proyecto, sirviendo como base para entender su naturaleza y el procedimiento para su aplicación.
3. **Capítulo tres.** Detalla la puesta en práctica de las técnicas y herramientas seleccionadas siguiendo la metodología establecida, a incluir todo el proceso desde la identificación de áreas de mejora hasta la obtención y validación de los resultados.
4. **Capítulo cuatro.** Presenta los resultados obtenidos en el capítulo anterior, junto con los productos académicos generados a lo largo del desarrollo del proyecto.
5. **Conclusiones y recomendaciones.** Expone las conclusiones del proyecto y ofrece sugerencias para asegurar la continuidad y el mantenimiento de los resultados obtenidos a lo largo del tiempo.
6. **Fuentes de información**. Lista todas las referencias y materiales consultados durante la elaboración del proyecto.

Capítulo 1
Antecedentes

El presente capítulo se muestra una revisión de los antecedentes relacionados con la manufactura y su evolución, así como la implementación de metodologías de mejora continua. Adicionalmente, se describen las generalidades de la empresa en estudio, incluyendo su historia, misión, visión y los valores que sustentan sus operaciones. También se detalla la estructura organizacional y los productos que la empresa ofrece.

1.1 Estado del campo

La empresa en estudio se dedica a la fabricación de herramientas manuales, destacándose en la producción de machetes. Aunque el proceso de producción es común para las diferentes referencias de machetes, se han identificado problemáticas recurrentes, como tiempos prolongados en los ajustes, falta de estandarización y desorganización en las áreas de trabajo. Estas situaciones generan ineficiencias operativas que impactan la productividad, aumentan los costos y afectan la competitividad, además de ocasionar retrasos en los plazos de entrega y una calidad inconsistente en los productos.

Partiendo de esta problemática, se realizó una investigación del estado del campo, abordando los antecedentes de la manufactura, desde su evolución histórica hasta la aplicación de herramientas modernas como *Lean Manufacturing*, *Value Stream Mapping* (VSM), *Single-Minute Exchange of Die* (SMED) y las 5S. Asimismo, se analizaron casos de éxito relacionados con la optimización de procesos en la industria metalmecánica y la implementación de metodologías de mejora continua. Los trabajos seleccionados permitieron al autor identificar enfoques prácticos y efectivos para abordar los retos planteados en la línea de producción de machetes, contribuyendo a proponer soluciones que optimicen las operaciones y fortalezcan la posición competitiva de la empresa.

1.1.1 Historia de la manufactura

Según Cárdenas (2018) la manufactura, que proviene del latín "*manus*"-mano y "*factus*"-hacer, comenzó a desarrollarse de manera significativa con la civilización romana, donde se

introdujeron técnicas de producción en masa y una división del trabajo orientada a sectores como los textiles, la cerámica, y la metalurgia. Sin embargo, tras la caída del Imperio Romano, muchas de estas técnicas y la organización productiva se perdieron, dando lugar a un modelo de producción artesanal centrado en el núcleo familiar, donde los conocimientos se transmitían de maestro a aprendiz. Este sistema permaneció en la Edad Media hasta que, con el Renacimiento y luego con la Revolución Industrial a finales del siglo XVIII, la manufactura comenzó a evolucionar nuevamente, marcando el inicio de la producción moderna.

La Revolución Industrial, que se originó en el Reino Unido alrededor de 1780, expandió rápidamente las técnicas de manufactura a Europa continental y luego a América del Norte, posicionando la fabricación como un pilar fundamental en la economía global. Durante los siglos XIX y XX, se sucedieron innovaciones como la manufactura de piezas intercambiables, introducida por Eli Whitney, y el ensamble en línea, por Henry Ford, que revolucionaron los métodos de producción y mejoraron la productividad y los niveles de vida. Además, el uso de la informática en la manufactura, con herramientas como CAD/CAM, impulsó una nueva etapa en la industria, facilitando la precisión y el control en los procesos productivos (Cárdenas, 2018).

La manufactura se orienta hacia la personalización, con el objetivo de satisfacer necesidades específicas de los clientes de forma rápida y eficiente. A la vez, existe una creciente preocupación por la sostenibilidad, lo que ha dado lugar a prácticas que minimizan el consumo de energía y recursos, reducen residuos y emisiones contaminantes, y promueven el reciclaje. Este enfoque busca lograr una producción que no sólo sea económica y competitiva, sino también respetuosa con el medio ambiente, en un esfuerzo hacia la manufactura sustentable (Cárdenas, 2018).

1.1.1.1 Interrelación entre diseño, manufactura y selección de materiales

Según Cárdenas (2018) la **manufactura** y el **diseño de productos** están profundamente interrelacionados, ya que los diseñadores deben cumplir con una serie de requisitos como funcionalidad, resistencia y ligereza del producto, además de minimizar los costos de producción. Los productos deben manufacturarse con la cantidad, precisión y acabados adecuados para su propósito. Cualquier cambio en el diseño o en los materiales implica

revisar los métodos de producción, ya que la selección de éstos impacta directamente en el cumplimiento de las especificaciones técnicas del producto.

Seleccionar el proceso de producción adecuado es complejo y requiere un análisis exhaustivo de varias alternativas. Es necesario evaluar no sólo el costo, sino también el uso eficiente del material, las propiedades del producto en servicio, los requisitos de capacitación para el personal, el consumo energético y el impacto ambiental del proceso. Estos factores son clave para asegurar que el método elegido cumpla con los objetivos de precisión y calidad al menor costo posible (Cárdenas, 2018).

Como lo hacen notar De Garmo et al. (2019), para seleccionar un material es fundamental adaptar sus propiedades a las condiciones del diseño (como debe funcionar la pieza) y al proceso de manufactura. Los materiales adecuados deben elegirse considerando los requisitos de carga y el entorno en el que operará cada componente, utilizando datos experimentales como referencia inicial. Es importante conocer qué propiedades deben evaluarse, cómo medirlas y qué limitaciones deben establecerse en su uso.

Para la elaboración de un producto debe hacerse teniendo en cuenta tanto los requisitos de procesamiento como los de servicio, ya que estos factores afectan la eficiencia económica y funcional. Aunque existen varios métodos posibles para producir un bien, se selecciona el que mejor se ajuste a las restricciones de diseño y manufactura, asegurando un acabado y una calidad superficial adecuados para el producto final (De Garmo et al., 2019).

1.1.1.2 Evolución de las herramientas

Schvab (2011) menciona que, desde los inicios de la humanidad, el ser humano aprendió a manipular elementos básicos para extender sus capacidades más allá de lo que sus manos podían lograr por sí solas. Las herramientas, concebidas como una extensión de la mano, permitieron realizar tareas que de otro modo no habrían sido posibles. Aunque es difícil precisar el momento exacto en que el hombre comenzó a usar herramientas intencionalmente, es evidente que esta práctica marcó un paso significativo en el desarrollo humano.

A lo largo de las eras, desde las flechas y cuñas primitivas hasta las primeras ruedas y palancas, el dominio del fuego y la manipulación de metales impulsaron el avance en la

creación de herramientas. A partir de la Edad de Bronce y la Edad de Hierro, las herramientas se hicieron más complejas; el hombre comenzó a usar rudimentarios taladros y cinceles, las primeras herramientas similares a las que conocemos hoy en día (Schvab, 2011).

Con el tiempo, las necesidades crecientes impulsaron la creación de nuevas herramientas de trabajo, fortaleciendo la relación entre el hombre y sus instrumentos de labor. Hoy en día, las herramientas siguen siendo esenciales, incluso extendiéndose al ámbito intelectual. Este vínculo entre el hombre y la herramienta es una constante en la historia, reflejando el progreso, tanto en las habilidades físicas como en las capacidades mentales del ser humano (Schvab, 2011).

1.1.1.3 Legado de las herramientas manuales

Con el paso del tiempo, los avances en la tecnología de materiales transformaron estas herramientas. El bronce, por ejemplo, ofreció una mayor durabilidad, lo que permitió la creación de instrumentos más precisos y versátiles. Más tarde, la introducción del hierro reemplazó al bronce, proporcionando aún más resistencia y eficiencia, lo que a su vez abrió nuevas posibilidades en áreas como la construcción y la fabricación (Prada, 2023).

En la opinión de Klein Tools (2020) a partir del siglo XIX, con la Revolución Industrial, las herramientas manuales experimentaron una transformación significativa. La producción en masa y las mejoras en la fabricación de materiales permitieron la creación de herramientas más poderosas y especializadas, lo que facilitó aún más los trabajos en diversos sectores. Así, las herramientas manuales, lejos de ser sólo una extensión de las manos humanas, se convirtieron en un símbolo de progreso, marcando un antes y un después en la evolución tecnológica que ha dado forma a nuestra sociedad.

1.1.2 Aplicación de *Lean Manufacturing* en la mejora de procesos operativos

En esta sección se presentaron cuatro trabajos que describen como se aplicó la metodología de *Lean Manufacturing*. En cada uno se menciona, de manera breve, la problemática enfrentada, la metodología utilizada para su solución, así como los resultados obtenidos y la utilidad de estos casos para el presente proyecto.

- Pascual (2023) en su tesis: *Aplicación de herramientas de producción esbelta en granjas acuícolas de arel*; identifica varias problemáticas dentro de una granja acuícola, tales como tanques subutilizados, capacidad desperdiciada, falta de estandarización en el tamaño de los lotes y la ausencia de señalización para equipos y áreas de trabajo. Problemáticas que impactaban negativamente la eficiencia y productividad de la empresa, lo que resultaba en pérdidas económicas y dificultad para cumplir los objetivos de producción. Para la solución de las problemáticas se utilizó la siguiente metodología:
    - Se realizó una inspección para conocer la situación actual de la granja
    - Se implementó el ciclo de Deming en tres ciclos PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar).
    - Se realizó un VSM (*Value Stream Mapping*) para analizar el proceso de producción y detectar áreas de mejora.
    - Se determinó el área de mejora a ser atendida.
    - Se aplicaron las 5S para mejorar la organización, limpieza y orden dentro de la granja.
    - Se calculó un indicador de OEE para evaluar la eficiencia global de la empresa, identificando oportunidades de mejora en rendimiento, calidad y disponibilidad.

  Como resultado de la implementación de la metodología está el aumento en la eficiencia: con un indicador de OEE del 83%; y una reducción de desperdicios de la capacidad volumétrica. Además, se logró una mejor organización y limpieza mediante las 5S.

  La lectura del presente trabajo resultó de gran interés porque proporcionó un enfoque para mejorar la productividad y la eficiencia mediante la aplicación de *Lean Manufacturing,* asimismo*,* presentó soluciones prácticas que abordan los problemas identificados.
- Bolimbo (2022) en su tesis: *Aplicación de Lean Manufacturing para mejorar la productividad en una empresa metalmecánica, lima 2022*; identificó una problemática en la empresa metalmecánica al centrar las piezas debido a sus características físicas, así como la falta de soporte y herramientas adecuadas. Esta

situación hacía que el proceso se volviera complejo, lo que afectaba los tiempos de producción y disminuía la eficiencia operativa.

Para abordar esta problemática, se implementó la siguiente metodología:

- Se realizó un enfoque cuantitativo para obtener datos precisos y medibles sobre la productividad de la empresa.
- Se implementaron diseños para observar comparaciones antes y después de la aplicación de las técnicas.
- Se aplicó el ciclo de Deming para asegurar una mejora continua, planificando, ejecutando, verificando y ajustando cada fase en el proceso.
- Se utilizó el diagrama de Pareto para la identificación de las causas de baja productividad.
- Se definieron indicadores de calidad, costo y tiempo para medir el impacto de las mejoras implementadas.

Los resultados de la implementación de *Lean Manufacturing* mostraron un incremento significativo en la productividad. Además, se mejoraron las condiciones laborales mediante las 5S, lo que generó un ambiente de trabajo eficiente. Por último, se lograron reducir los tiempos de fabricación del producto más vendido.

La lectura resultó de gran interés, ya que abordó la influencia de *Lean Manufacturing* en la productividad y proporcionó un análisis cuantitativo que permitió entender la relación entre las prácticas de mejora continua y los resultados operativos.

- Carrillo et al. (2018), en su artículo: *Lean Manufacturing: 5S y TPM, herramientas de mejora de la calidad. Caso empresa metalmecánica en Cartagena, Colombia*; afrontaron como problemática la falta de organización, el inadecuado manejo de residuos, la deficiente infraestructura y la ausencia de planes de mantenimiento para los equipos e instalaciones. Afectando la operatividad y la vida útil de los equipos.

  Consideraron la siguiente metodología para la solución de la problemática, estructurándola en cuatro fases:

  1. Se realizó un autodiagnóstico de la empresa y un análisis externo.
  2. Se desarrolló un diagnóstico inicial mediante observación directa, entrevistas al personal y recorrido por las instalaciones.
  3. Se aplicaron técnicas como las 5S y TPM, junto con un análisis de las condiciones operativas.

4. Se evaluó la implementación mediante un análisis de resultados y una comparación con datos de simulación.

Los resultados de la aplicación de las técnicas revelaron que el 47% de los fallos en los equipos eran imprevistos y el 52% eran recurrentes, lo que indicaba problemas en el mantenimiento. Además, se logró eliminar un 55% de objetos en el área de lavado, lo que liberó espacio y redujo el recorrido del trabajador en 9.65 metros.

Este texto fue de interés al destacar los resultados concretos de la implementación de las técnicas proporcionado datos significativos sobre la eficacia del mantenimiento y la optimización del espacio.

- Sophie (2011), en su artículo: *Mejoras de Lean Manufacturing en los sistemas productivos*; analizó la problemática de la identificación de grandes inventarios, largos tiempos de espera y una sobreabundancia de información paralela en la planificación. En este contexto, destacó los desperdicios en el proceso de producción, incluyendo sobreproducción, demoras, inventario excesivo, transporte innecesario, defectos y esfuerzos que no agregan valor.

  Para la solución de esta problemática, se utilizó la siguiente metodología:

  - Se implementó un mapeo de la situación actual para identificar los problemas, lo que permitió visualizar los desperdicios y las áreas de mejora en el proceso.
  - Se aplicó la técnica de los "5 porqués" para la investigación de la causa raíz de los problemas.
  - Se utilizaron los principios de *Lean Manufacturing* para optimizar procesos.
  - Se aplicó una estandarización de los procesos para gestionar de manera eficiente el inventario y la producción.

  La implementación de *Lean Manufacturing* resultó en una reducción del 60% en el tiempo total de espera de producción y un ahorro del 13% en la compra de materia prima. Además, se observó un aumento de más del 30% en la productividad, junto con una mejor utilización del espacio y la maquinaria, lo que optimizó las operaciones.

  Esta lectura fue de interés porque abordó la implementación de *Lean Manufacturing,* una metodología que optimizó procesos y redujo desperdicios, lo cual fue fundamental para mejorar la competitividad y eficiencia en el sector productivo.

1.1.3 Aplicación de *Value Stream Mapping* (VSM) en la mejora de procesos operativos

En esta sección se presentaron dos trabajos que describen como se aplicó VSM (*Value Stream Mapping)*. En cada uno se menciona, de manera breve, la problemática enfrentada, la metodología utilizada para su solución, así como los resultados obtenidos y la utilidad de estos casos para el presente proyecto.

- Quishpe (2021), en su artículo: *Análisis y optimización en la producción de envases de cartón, empleando el Value Sream Mapping*; abordó como problemática el proceso de producción de envases cilíndricos de cartón, identificando cuellos de botella en las áreas de etiquetado y empaque, lo que afectó los tiempos de ciclo. Además, registró tiempos muertos debido a averías, distracciones y falta de personal, lo que impactó significativamente en la empresa y resultó en una pérdida de ingresos por la incapacidad de operar a máxima capacidad. Esto afectó negativamente el nivel de servicio, dificultando el cumplimiento de los plazos de entrega y potencialmente llevando a la insatisfacción del cliente.

  Para abordar esta problemática, utilizó la siguiente metodología:

  - Se recopiló información sobre el proceso actual, incluyendo tiempos de ciclo, tiempos de espera, inventarios y flujos de trabajo.
  - Se realizó un análisis detallado del mapa del estado actual para identificar cuellos de botella en el proceso.
  - Se identificó un área específica dentro del proceso de producción que requería atención y mejora.
  - Se desarrolló un mapa futuro para representar el proceso ideal, donde se eliminaron los desperdicios identificados.
  - Se propusieron acciones concretas para implementar mejoras en el proceso productivo, buscando aumentar la eficiencia y reducir costos.

  Como resultado del estudio realizado con el *Value Stream Mapping* (VSM), se aumentó el 15% en la producción, y se logró una reducción en los tiempos de espera. Esto permitió cumplir con los plazos de entrega y mejorar el nivel de servicio al cliente. El análisis resultó de gran interés, ya que no sólo proporcionó un diagnóstico

detallado de la situación actual de la empresa, sino que también ofreció un enfoque práctico para mejorar los procesos de manera eficiente y a bajo costo.

- Romero (2021) en su tesis: *Propuesta de mejora en procesos de servicio mediante el uso de Value Stream Mapping. Caso de estudio en el área de operaciones en la empresa electroequipos Colombia s.a.s.;* abordó la problemática del proceso de creación de cotizaciones en el área de operaciones, esto se evidenció con un retraso en las respuestas a las solicitudes que llegaba a demorar hasta dos días. Este problema se atribuyó a la ineficiencia de los gestores y analistas, quienes enfrentaban una carga excesiva de trabajo y múltiples tareas simultáneas. Como resultado, se generaron retrasos en las respuestas a los clientes, afectando tanto la satisfacción del cliente como la competitividad de la empresa.

  Para la solución de esta problemática utilizó la siguiente metodología:

  - Se realizó un análisis del proceso de creación de cotizaciones para identificar las variables críticas que afectaban los tiempos de respuesta.
  - Se recopiló información a través de bases de datos y registros de seguimiento de solicitudes de cotización.
  - Se utilizó un Diagrama de Pareto para identificar las causas de los retrasos en el proceso.
  - Se implementó la herramienta *Value Stream Mapping* (VSM) para mapear el estado actual del proceso de creación de cotizaciones.
  - Se elaboró un VSM del estado futuro, que incluía las mejoras propuestas, con el objetivo de facilitar la visualización del proceso optimizado.
  - Se desarrolló un modelo de mejora con el fin de optimizar el proceso de creación de cotizaciones y reducir los tiempos de respuesta.
  - Se midieron los resultados obtenidos tras la implementación de las mejoras, analizando si se lograron los objetivos planteados.

Los resultados obtenidos en el proceso de creación de cotizaciones incluyeron una reducción en el tiempo de respuesta, que pasó de 150 minutos a 85 minutos, optimizando así la eficiencia del proceso y aumentando la satisfacción del cliente. Este logro se alcanzó mediante la eliminación de tiempos muertos.

Esta lectura resultó de interés, ya que proporcionó un enfoque práctico y analítico para resolver problemas reales en los procesos empresariales. Además, demostró que la

optimización de procesos no sólo afecta la eficiencia operativa, sino que también impacta positivamente en la satisfacción del cliente.

1.1.4 Aplicación de *Single-Minute Exchange of Die* (SMED) en la reducción de tiempos de cambios de procesos

En esta sección se presentaron dos trabajos que describen como se aplicó la técnica SMED (*Single Minute Exchange of Die*). En cada uno se menciona, de manera breve, la problemática enfrentada, la metodología utilizada para su solución, así como los resultados obtenidos y la utilidad de estos casos para el presente proyecto.

- Silvestre (2022), en su tesis: *"Mejoramiento de procesos de almacén en una empresa de servicios industriales en la zona centro del estado de Veracruz para reducir el tiempo de servicio y pérdidas de materiales y herramientas"*; abordó la ineficiencia operativa del almacén, evidenciada por la pérdida de materiales y herramientas, además de los largos tiempos de servicio, impactando negativamente en la operatividad y competitividad de la empresa, provocando pérdidas económicas y dificultando el cumplimiento de los objetivos de producción.

  Para la solución de las ineficiencias en el almacén, se utilizó la siguiente metodología:
  - Se identificaron áreas de oportunidad mediante pláticas con el dueño y el personal.
  - Se recopilaron datos sobre los procesos actuales.
  - Se identificaron causas raíz del problema, usando diagrama *Ishikawa* y análisis ABC.
  - Se implementaron las 5S, para optimizar el espacio y reducir pérdidas.
  - Se establecieron mecanismos de seguimiento para asegurar que el personal aplicara estas prácticas a largo plazo.

  Los resultados fueron significativos ya que se logró una reducción del 82.6% en el tiempo de despacho, equivalente a 95 segundos. Estas mejoras no sólo optimizaron el uso de los recursos, sino que también permitieron que los trabajadores dedicaran el tiempo a actividades productivas.

  La tesis resultó de interés debido al uso de la metodología DMAIC y las 5S, ya que abordó la optimización de tiempos.

- Villalobos (2015) en su tesis: "*Reducción de los tiempos de entrega en la línea de producción de la empresa COATS*"; abordó una problemática relacionada con los tiempos de entrega prolongados y la acumulación de inventario, la cual impactaba negativamente en la satisfacción del cliente y la competitividad de la empresa. Para solucionar estas dificultades, se implementó la siguiente metodología:
    - Se realizó un análisis exhaustivo del estado actual de la empresa, evaluando los procesos productivos y los tiempos de entrega.
    - Se desarrolló un mapeo detallado de la cadena de suministro para obtener una visión clara del flujo de producción. A partir de este mapeo, se identificaron cuellos de botella, ineficiencias y áreas de oportunidad dentro del proceso productivo.
    - Se aplicó la técnica Kanban para optimizar el control del inventario y reducir la sobreproducción.
    - Se aplicó la técnica SMED para reducir significativamente los tiempos de ajuste y cambio entre lotes de producción.
    - Se implementaron las 5S, lo que aumentó la productividad al reducir tiempos innecesarios de búsqueda de herramientas o materiales y, al mismo tiempo, generó un entorno de trabajo ordenado y eficiente.

  Como resultado se lograron reducir los tiempos de entrega al menos en un 4% en la línea de producción. Además, se mejoró la organización interna permitiendo mayor aprovechamiento de los recursos en la producción.

  La lectura resultó de gran interés debido a que la metodología *Lean Manufacturing* permitió implementar técnicas que reducen el tiempo de operación, lo que contribuye a mejorar significativamente los procesos.

1.1.5 Aplicación de las 5S en la organización de áreas de trabajo

En esta sección se presentaron dos trabajos que describen como se aplicaron las 5S. En cada uno se menciona, de manera breve, la problemática enfrentada, la metodología utilizada para su solución, así como los resultados obtenidos y la utilidad de estos casos para el presente proyecto.

- Vargas y Camero (2021), en su artículo: *Aplicación de Lean Manufacturing (5S y Kaizen) para el incremento de la productividad en el área de producción de adhesivos acuosos de una empresa manufacturera;* abordan una problemática crítica, relacionada con la baja eficiencia en la productividad, la cual no sólo afectaba la capacidad de cumplir con la demanda del mercado, sino que también impactaba negativamente en los costos operaritos y la competitividad de la empresa.

  Para abordar esta problemática, se utilizó la siguiente metodología:

  - Se realizó un diagnóstico de la empresa para evaluar su estado actual y determinar las áreas de mejora.
  - Se rediseñó el área de trabajo para definir el espacio a utilizar, con el objetivo de eliminar la desorganización.
  - Se implementaron las 5S y la filosofía *Kaizen* en el área de producción para realizar las mejoras que el proceso demandaba.

  Como resultado de la aplicación de las 5S se logró una reducción de los tiempos innecesarios por búsquedas de materiales, una mejora en la organización y limpieza del área y, con la aplicación de la filosofía *Kaizen*, se consiguió disminuir el tiempo de la fabricación del producto más vendido.

  Esta lectura es de interés porque abordó la problemática de la baja productividad en una empresa, desafío que limitaba la capacidad para satisfacer la demanda del mercado y afectaba directamente sus costos operativos y su competitividad. La implementación de técnicas como las 5S y la filosofía *Kaizen* demostró que fue posible lograr un aumento significativo en la eficiencia operativa.

- Sócola et al. (2020), en su artículo: *"Las 5S, herramienta innovadora para mejorar la productividad"*; abordaron la problemática en el área de almacén de una empresa dedicada a la agroexportación de banano, destacando varios inconvenientes: la inadecuada separación de equipos obsoletos, la falta de orden en los materiales, la escasez de limpieza al inicio y al finalizar las actividades, la insuficiente iluminación y la escasez de señalizaciones de seguridad.

  Para la solución a esta problemática utilizaron la siguiente metodología:

  - Se implementó un método que permitió observar y registrar el comportamiento en las áreas de trabajo antes y después de la aplicación.

- Se utilizaron encuestas para recopilar información sobre la percepción y el conocimiento de los colaboradores respecto al uso de las 5S.
- Se evaluaron las condiciones en el área de almacén y el cumplimiento de las 5S.

Como resultado de la aplicación de las 5S, se aumentó notoriamente el orden, la limpieza, la estandarización y la diciplina. Además, la eficacia del área de almacén mejoró, lo que fortaleció el compromiso entre los colaboradores y mejoró el trabajo en equipo.

Esta lectura fue de interés porque demostró como una técnica sencilla y bien aplicada puede transformar un área fundamental de una empresa, impactando directamente en su productividad.

1.1.6 Aplicación de DMAIC para la mejora de procesos operativos

En esta sección se presentaron cinco trabajos que describen como se aplicó DMAIC (*Define, Measure, Analize, Improve, Control*). En cada uno se menciona, de manera breve, la problemática enfrentada, la metodología utilizada para su solución, así como los resultados obtenidos y la utilidad de estos casos para el presente proyecto.

- Carrillo et al. (2021), en su artículo: *Reducción de ruido industrial en un proceso productivo metalmecánico: Aplicación de la metodología DMAIC de Lean Seis Sigma*; abordaron la problemática de la exposición al ruido en el entorno industrial generado por diversas máquinas, lo cual contraponía a la productividad debido a los efectos psicofisiológicos que iban desde la irritación hasta la pérdida auditiva.

  Para la solución de esta problemática emplearon la siguiente metodología:
  - Definir: Se caracterizaron los procesos y tareas relacionadas con la producción de ruido. Para ello, se identificaron los peligros en el entorno de trabajo y se valoraron los riesgos asociados.
  - Medir: Se emplearon instrumentos como el dosímetro y el sonómetro para registrar niveles de ruido en diez puntos clave del proceso productivo durante 10 días.

- Analizar: Se determinó el nivel de riesgo comparando los resultados de las mediciones con los límites permitidos, identificando las fuentes de ruido excesivo y sus causas principales mediante un diagrama de causa-efecto.
- Mejorar: Se establecieron estrategias de mejora, incluyendo controles en la fuente, el medio y el individuo, como barreras acústicas y mantenimiento preventivo.
- Controlar: Se implementaron controles definitivos y se monitorearon los niveles de ruido tras las mejoras.

A través de la metodología implementada, se lograron reducir los niveles de ruido en varios puntos del entorno laboral. Sin embargo, algunas máquinas continuaron operando con niveles de ruido superiores a lo permitido. Para mitigar este problema, se proporcionó al personal equipo de protección auditiva que resultó ser más efectivo en la reducción del ruido.

Este análisis fue de gran interés, ya que demostró que la metodología DMAIC no sólo se puede aplicar en procesos industriales, sino también en ámbitos relacionados con la salud. Su implementación contribuyó a crear conciencia sobre la importancia de controlar el ruido en el entorno laboral, lo que a su vez favoreció mejores condiciones de trabajo para los empleados.

- Pérez et al. (2020), en su artículo: *Aplicación de metodología DMAIC en la resolución de problemas de calidad*; afrontaron como problemática el incorrecto posicionamiento del casquillo en el cepillo de una compañía de productos médicos. El problema fue evidenciado por un cliente que presentó una queja relacionada con el producto, esto generó productos no conformes, aumentó el reproceso, desperdicio de material y efectos negativos en la eficiencia operativa.

  Para la solución de esta problemática se utilizó la siguiente metodología:
  - Definir: Se establecieron objetivos claros y el problema principal a resolver, enforcado en la satisfacción del cliente.
  - Medir: Se recolectaron datos para cuantificar el problema y determinar su alcance, utilizando un análisis R&R para evaluar la precisión en la medición.
  - Analizar. Se identificaron las causas raíz de los defectos mediante herramientas estadísticas, además del uso del diagrama de causa y efecto

- Mejorar. Se implementaron mejoras basadas en las causas identificadas, utilizando factores críticos.
- Controlar. Se establecieron controles para asegurar que las mejoras se mantengan estables a largo plazo.

Como resultado, se logró reducir la frecuencia de defectos gracias a las acciones de mantenimiento preventivo y a los ajustes en la configuración de la máquina. Además, se capacitó al personal para que pudiera identificar y responder ante posibles anomalías, lo que permite detectar fallas potenciales de manera más efectiva.

El artículo es de interés porque aborda la implementación de la metodología DMAIC para resolver problemas de calidad en un proceso industrial ya que ilustra cómo una estructura metodológica puede aplicarse para identificar y eliminar causas raíz de defectos, optimizar la eficiencia operativa, y establecer controles que aseguren la calidad a largo plazo.

- Plúas et al. (2019), en su artículo: *Mejoramiento del proceso continuo mediante la aplicación de la metodología DMAIC en la línea de producción chocolatera de una empresa alimenticia*; identificaron como problemática en una empresa alimenticia las inconformidades en los productos durante las etapas de pesado y envasado. Esto se debió a que los empaques se encontraban vacíos, incompletos o mal sellados. Esta problemática afectó negativamente los niveles de productividad y la calidad del producto final.

  Se consideró la siguiente metodología para la solución de la problemática:
  - Definir: Se establecieron los principales problemas y sus métricas asociadas, además se identificaron las variables que serían medidas y comparadas.
  - Medir: Se calculó el desempeño actual del proceso que se deseaba mejorar y se identificaron las causas raíz de los problemas
  - Analizar: Se analizaron las variables que generaron los datos necesarios para evaluar el proceso, usando herramientas analíticas y estadísticas.
  - Mejorar: Se diseñaron e implementaron soluciones para disminuir los problemas identificados.
  - Controlar: Se estableció un sistema para monitorear el proceso mejorado, asegurando que los cambios implementados se mantuvieran a lo largo del tiempo.

Los resultados de la aplicación de la metodología DMAIC fueron significativos, logrando una reducción de las inconformidades por empaques vacíos. Además, se estandarizó el proceso productivo, lo que resultó en un incremento del 56% en los niveles de producción.

Esta lectura fue de gran interés, ya que mostró la efectividad de la metodología DMAIC en la mejora de procesos productivos, así como la importancia de la capacitación y la estandarización de los recursos.

- Villafuerte (2019), en su tesis: *Mejora del proceso productivo lácteo mediante la aplicación de DMAIC*; abordó como problemática la alta variación en las características físicas de los productos que la empresa produce, especialmente en relación con los estándares de peso que no se cumplían adecuadamente. Esta situación afectó la satisfacción del cliente, deterioró la reputación de la empresa y resultó en pérdidas económicas significativas.

  Para abordar esta problemática utilizó la siguiente metodología:

  - Definir: Se analizaron los productos de la empresa utilizando un diagrama de Pareto y un análisis de ventas de los últimos dos años.
  - Medir: Se realizó una medición del desempeño analizando sus parámetros de elaboración, donde se midió el peso de todos los quesos en ocho lotes de producción.
  - Analizar: Se utilizaron varias herramientas para determinar la causa raíz del problema, incluyendo el Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF), el Diagrama de Ishikawa y el análisis de correlación. Permitiendo identificar los procesos que necesitaban mejoras.
  - Mejorar: Se elaboró una propuesta de mejora utilizando el enfoque *Kaizen*, con el objetivo de asegurar que las mejoras fueran sostenibles a lo largo del tiempo, mejorando así la calidad del producto.
  - Controlar: Se establecieron planes de control, capacitaciones y planes de incentivos para asegurar la implementación efectiva de las mejoras y mantener la calidad del producto a lo largo del tiempo.

  Al implementar la metodología, se obtuvo como resultado una reducción significativa en la variación del proceso de los productos, lo que disminuyó las devoluciones de la

empresa. Esto mejoró la satisfacción del cliente y la reputación de la organización, además de optimizar la eficiencia operativa al identificar y corregir problemas.

Esta lectura resultó de interés porque proporcionó un enfoque estructurado para resolver problemas de calidad en los procesos, identificando y analizando los problemas. Además, destacó la importancia de la capacitación y el compromiso del personal dentro de la organización.

- Montoya (2018) en su tesis: *"Metodología DMAIC para disminuir pérdidas de materia prima en proceso de manufactura de persianas"*; aborda la problemática de la pérdida excesiva de material en el proceso de manufactura de persianas, especialmente en lo que respecta a los costos generados por el material en proceso y el desperdicio. Esta situación tuvo un impacto negativo significativo en la rentabilidad y el presupuesto de las empresas, afectando su capacidad para operar de manera eficiente y sostenible.

  Para solucionar esta problemática, se implementó la siguiente metodología:

  - Definir: Se identificaron los problemas relacionados con el uso excesivo de materia prima en el proceso de manufactura y se establecieron los objetivos del proyecto.
  - Medir: Se realizó una medición del desempeño actual, analizando los parámetros de producción y recopilando datos sobre el uso de materia prima.
  - Analizar: Se llevaron a cabo análisis detallados para identificar las causas raíz de las pérdidas de materia prima, utilizando herramientas como diagramas de flujo y análisis de causa-raíz.
  - Mejorar: Se desarrollaron e implementaron soluciones para optimizar el uso de materia prima, incluyendo un plan de entrenamiento para los coordinadore.
  - Controlar: Se establecieron controles para monitorear el proceso mejorado y asegurar que las mejoras se mantuvieran a lo largo del tiempo, incluyendo la evaluación periódica del dominio de competencias adquiridas por los coordinadores.

  Al implementar la metodología DMAIC, se logró reducir en un 16% el exceso de material en proceso, lo cual optimizó los costos operativos y mantuvo el gasto dentro del margen permitido, generando un uso más eficiente de los recursos y un impacto positivo en la rentabilidad de la empresa.

La lectura de esta tesis resultó de interés por su enfoque práctico en la resolución de problemas comunes en la industria, destacando cómo el análisis y la mejora continua fortalecieron la competitividad en el mercado.

1.2 Generalidades de la empresa en estudio

Para abordar la problemática: Ineficiencias operativas en la línea de machetes; de la empresa en estudio es fundamental comprender el panorama general de las actividades que se realizan en ella, desde sus orígenes hasta el proceso completo, para ofrecer un servicio. En este sentido, se tratarán los siguientes aspectos generales de la empresa:

- Antecedentes.
- Propósito.
- Misión.
- Visión.
- Valores y creencias clave.
- Distribución de la empresa de estudio.
- Organigrama.
- Productos.
- Descripción general del proceso.

1.2.1 Antecedentes

Desde su creación, la empresa en estudio ha mantenido la esencia de sus raíces, buscando siempre ser una marca reconocida por la calidad, durabilidad y fiabilidad de todos sus productos. Sus hitos históricos de esta gran empresa son los siguientes:

- 1904: Patricio Echeverría fundó un pequeño taller de herrería en Legazpi, España.
- 1906: Patricio registró en Madrid, España, la patente de sus dos primeros productos: un rastrillo de chapa de acero y una azada. Desde esta fecha Patricio comprendió que la clave del éxito de su empresa residía en el desarrollo de nuevos procesos y tecnologías que permitieran producir más herramientas, de mejor calidad, capaces de adaptarse al mercado y satisfacer a sus usuarios.

- 1908: La Corporación Patricio Echeverría fue fundada en Legazpi, España. Patricio Echeverría comenzó con un pequeño taller dedicado a la fabricación de herramientas de mano y comprendió la importancia de crear y consolidar una marca, fundando la empresa en estudio.
- En 1994: Comenzó la producción en México.
- En el 2000: Adquirieron a AceroTech (USA) y a MetalForm (Brasil).
- En el 2005: Trasladaron la producción de AceroTech a México.
- En el 2009: Crearon dos nuevas plantas en USA (Illinois) y una en India (Nashik).
- En el 2014: Accionistas canadienses adquirieron la Corporación de Patricio Echeverria.
- En el 2015: El corporativo cambió de nombre a Innovare Global y se dividió en dos segmentos.

La empresa en estudio tiene presencia en más de 120 países alrededor del mundo, con 3 oficinas corporativas y más de 1,400 colaboradores, posicionándose como una empresa con presencia en los 5 continentes con productos de alta calidad y reconocimiento en el mercado.

1.2.2 Propósito

El propósito de la empresa en estudio está enfocado en contribuir de manera activa a la construcción de un futuro sostenible y próspero, por esta razón ha definido el siguiente propósito:

"Ayudamos a construir y a alimentar al mundo" (Empresa en estudio, 2024)

1.2.3 Visión

La empresa en estudio cuenta con una visión clara y un firme compromiso con la calidad y la eficiencia en cada uno de sus procesos, fundamentando su reputación en la satisfacción constante de sus clientes. Su visión (Empresa en estudio, 2024) refleja de manera efectiva los valores y objetivos estratégicos de la empresa, la cual se menciona a continuación:

"TecnoMetal es relevante para el usuario, una marca en la que confía, de la que siempre tiene buenos resultados. 'Si lo ha hecho TecnoMetal puedo fiarme'.
Al distribuidor le gusta la marca por la demanda y el tráfico que genera, y por la agilidad de los procesos en la compañía que dan respuesta a sus necesidades. Provee de una solución completa a las necesidades de la ferretería.
TecnoMetal ofrece al colaborador interno un proyecto profesional de vida donde puede desarrollarse, trabajando en equipo y con un propósito inspirador.
Para el accionista, es un negocio eficiente con una gestión confiable, en el cual puede invertir y obtener un retorno garantizado."
(Empresa en estudio, 2024)

1.2.4 Misión

La misión de la empresa en estudio está orientada hacia el éxito en el mercado, con un enfoque en brindar la satisfacción que sus clientes merecen. Esta misión se describe de la siguiente manera:

> *"Convertirnos en la marca #3 en volumen en nuestro mercado accesible de México, Centroamérica y Caribe. Nuestra empresa diseña y fabrica herramientas y soluciones para agricultura, construcción, jardinería e industria. Herramientas que se inspiran en el trabajo duro de agricultores y albañiles, duraderas, seguras, sostenibles y eficientes"* (Empresa en estudio, 2024).

1.2.5 Valores y creencias clave

Los valores institucionales, con los que la empresa en estudio está comprometida, son los siguientes (Empresa en estudio, 2024):

- *"Empoderamiento. Creemos en las personas.*
- *Innovación. Somos valientes para cambiar.*

- *Integridad. Defendemos lo que es correcto."*

1.2.6 Distribución de la empresa de estudio

La empresa en estudio se localiza en el estado de Veracruz; pero, por motivos de privacidad, su ubicación exacta no puede ser revelada en este proyecto. Sin embargo, si puede darse a conocer que la empresa está conformada por once áreas que fabrican limas en diferentes presentaciones: lima triangular 2, limas triangulares 6, lima triangular 8, limas planas, área de prensas; un área de fabricación de machetes, un área de fabricación de pala, un área de fabricación de cucharas, un almacén, un área de maquinados, un área de inyección de plásticos y áreas administrativas. La distribución de estas áreas se muestra en la Figura 1.1:

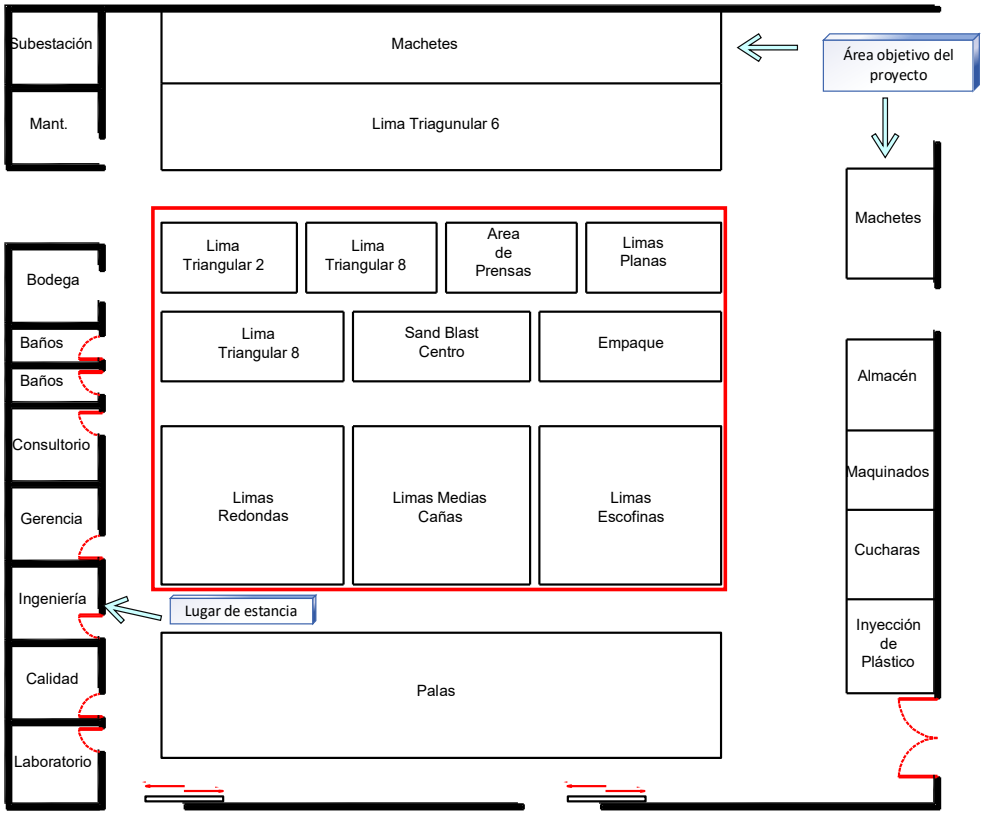


Figura 1.1. Distribución del departamento de producción de la empresa en estudio. (fuente: elaboración propia).

En la Figura 1.1 se señala el área de fabricación de machetes, porque ahí es donde se desarrollará el presente proyecto, con el apoyo constante del personal operativo de la línea de machetes y bajo la supervisión del jefe de ingeniería, cuya oficina se encuentra entre las oficinas de gerencia y de calidad.

1.2.7 Organigrama

La empresa en estudio cuenta con una Gerencia de Manufactura, cuya función es supervisar y optimizar los procesos de producción para asegurar que los productos cumplan con los estándares de calidad, costos y tiempos establecidos. Esta gerencia se apoya de tres departamentos clave (Figura 1.2), los cuales reportan de forma continua toda la información relevante sobre el proceso industrial, facilitando así una gestión integral y eficiente de la producción.

El jefe de ingeniería (Figura 1.3), es responsable de diseñar, implementar y optimizar los procesos de producción. Entre sus actividades se incluyen el diseño de sistemas de producción orientados a minimizar costos y tiempos, manteniendo siempre los estándares de calidad del producto.

El jefe de producción (Figura 1.4), es responsable de supervisar las operaciones de producción, asegurando que los productos se fabriquen de manera eficiente y cumplan con los estándares de calidad y los plazos establecidos.

Es importante mencionar que, para el desarrollo del presente proyecto, se ha establecido una interacción constante y directa con los departamentos de ingeniería y producción, en particular con el jefe de ingeniería y los ingenieros del área, asimismo, se ha mantenido un contacto continuo con los operadores del área de machetes, ya que en esta sección se implementarán medidas para reducir ineficiencias en los procesos de producción

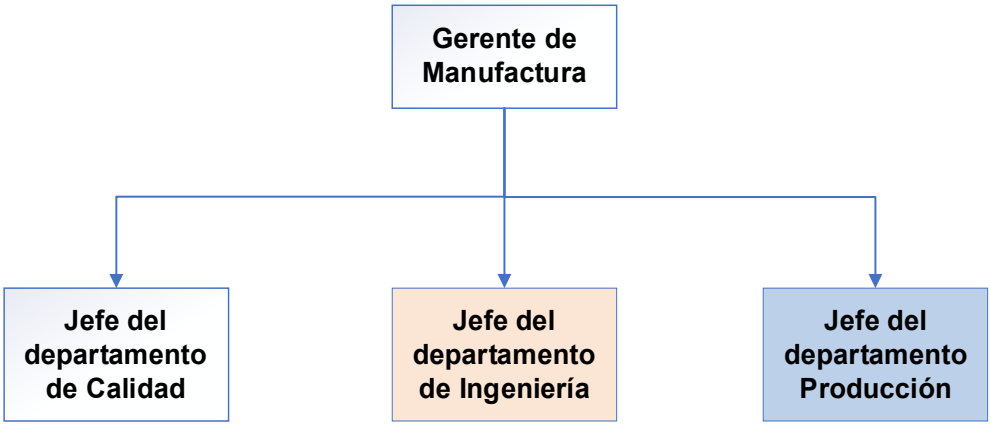


Figura 1.2. Organigrama de Gerente de Manufactura. (fuente: elaboración propia).

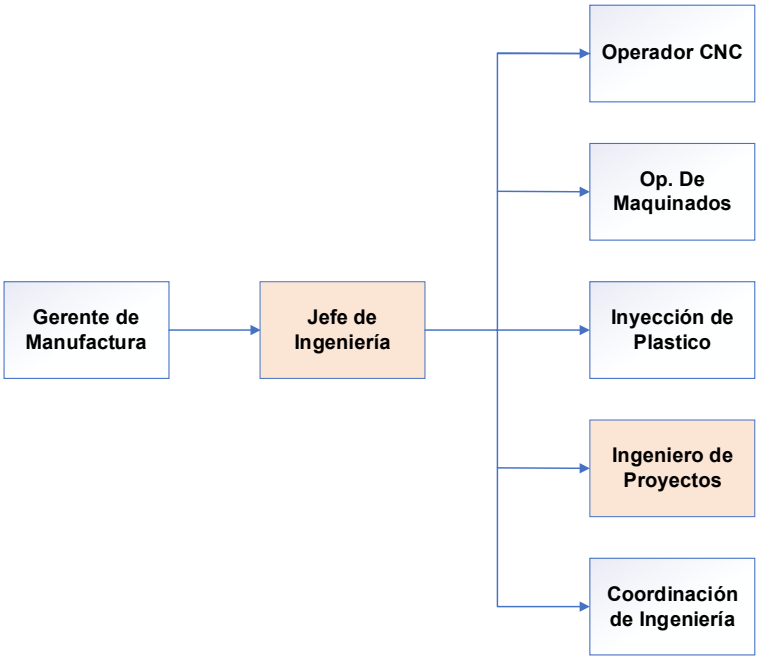


Figura 1.3. Organigrama del departamento de ingeniería (fuente: elaboración propia).

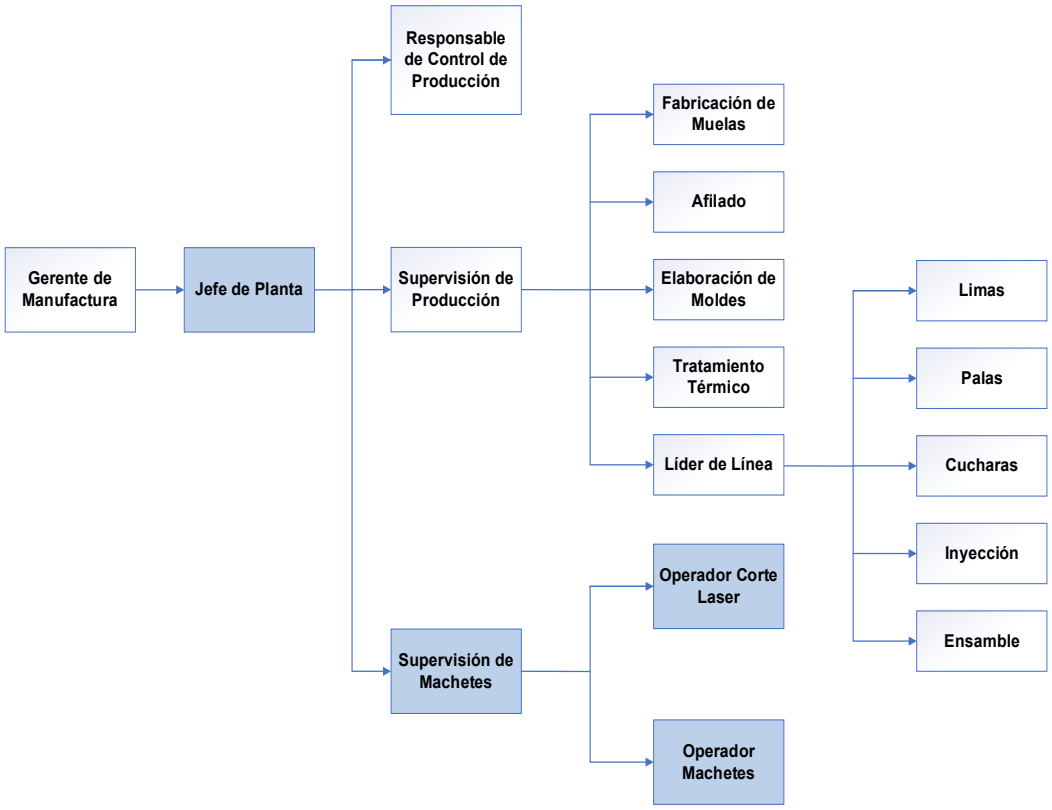


Figura 1.4. Organigrama del departamento de planta.
(fuente: elaboración propia).

1.2.8 Productos

En la empresa en estudio se fabrica una amplia variedad de productos de alta calidad, diseñados para satisfacer las necesidades específicas de diversos sectores industriales. Esta amplia variedad se puede agrupar en cuatro categorías, las cuales se describen a continuación (Empresa en estudio, 2024):

- Limas. Disponibles en diversas formas: redonda, rectangular, cuadrada, media caña y triangular. Se ofrecen en tres tamaños (simple, doble y escofina) y con diferentes tipos de corte: basta, entrefino y fino; para adaptarse a las necesidades específicas de cada aplicación y garantizando un acabado preciso y eficiente.
- Cucharas. Estas cucharas por su flexibilidad y resistencia están forjadas en una sola pieza, con acero de alta calidad, lo cual las hace ideales para aplicar cemento, mezcla sobre paredes, muros o ladrillos, ofreciendo un rendimiento en trabajos de construcción.

- Palas. Las palas, que están fabricadas con acero de calibre 17 de alta resistencia, cuentan con un refuerzo en la unión del mango y la cabeza, lo que garantiza una mayor seguridad y durabilidad. Además, están equipadas con un mango ergonómico bimaterial que proporciona un agarre cómodo y reduce la fatiga durante su uso.
- Machetes. Los machetes, que están fabricados con acero especial tratado térmicamente para ofrecer una mayor resistencia y durabilidad, cuentan con mangos ergonómicos que aseguran un agarre cómodo y seguro durante su uso. Son ideales para el corte de caña, vegetación, ramas o maleza, y la empresa dispone de más de 80 referencias de machetes, adaptándose a diversas aplicaciones y necesidades específicas de los usuarios.

1.2.9 Descripción general del proceso

La empresa en estudio produce una variedad de productos: limas, cucharas, palas y machetes. Esta sección se centrará en la descripción del proceso de producción de machetes, debido a que el presente proyecto se realizará en el área de machetes.

Los machetes se fabrican en diversas presentaciones, a las que internamente se les denomina referencias. Cada referencia sigue un flujo de fabricación similar. La diferencia entre las referencias radica en el tipo de acabado: algunos machetes algunos machetes tienen el mango (carche) sujeto con pines, mientras que otros el mango se asegura mediante inyección de plástico. El acabado depende de las especificaciones del cliente.

La Figura 1.5 muestra el proceso de la fabricación de machetes, utilizado por la empresa, el cual se describe a continuación:

1. Recepción de la orden. Se espera la orden correspondiente a la referencia del machete a fabricar.
2. Corte inicial. Una máquina cortadora láser realiza el corte del lote de machetes requerido para iniciar el proceso.
3. Ajuste de ancho. Los machetes se pasan por rodillos para alcanzar el ancho adecuado según la referencia.
4. Troquelado. Mediante una prensa, se da la forma específica a cada machete

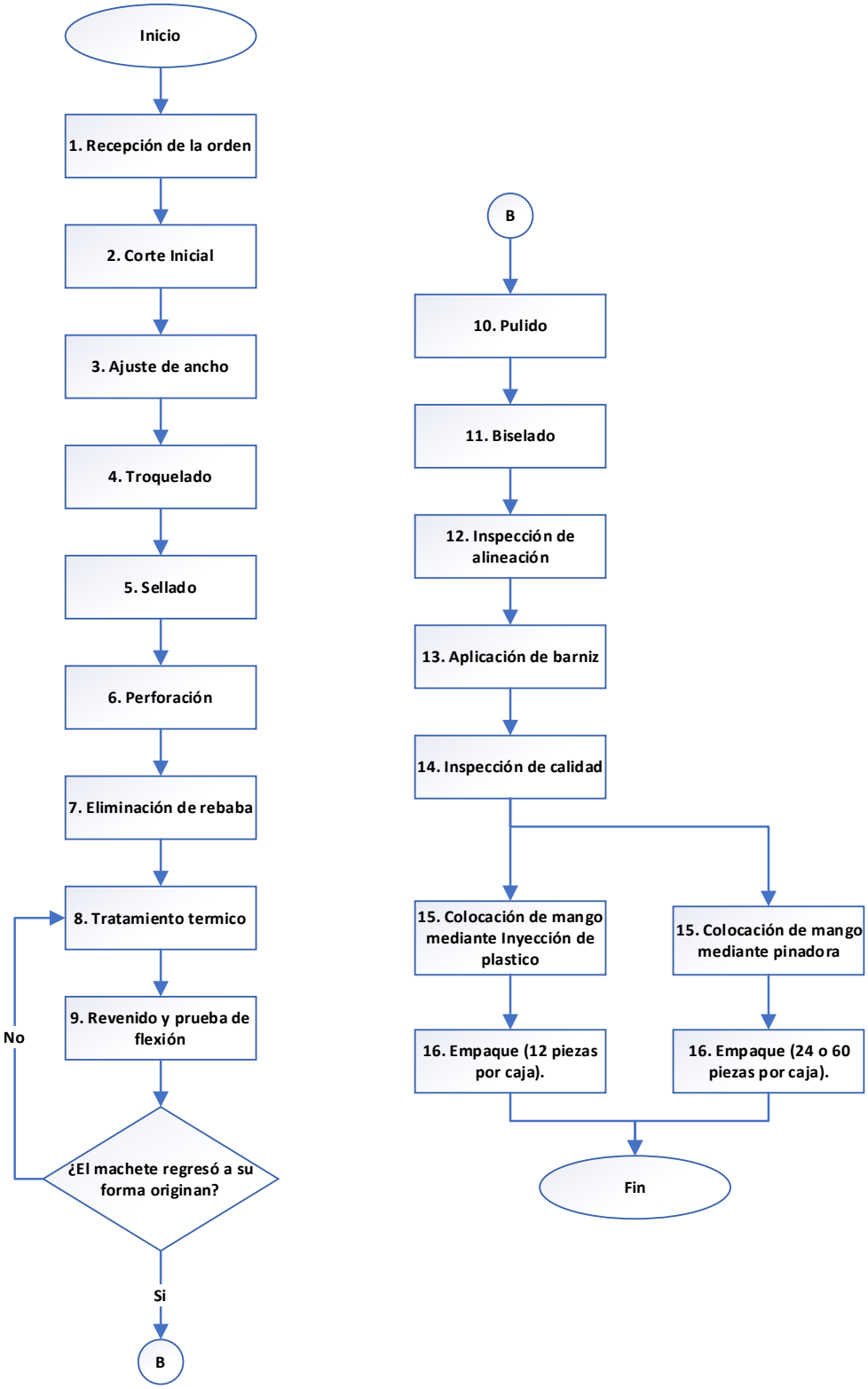


Figura 1.5. Diagrama de flujo de proceso del machete.
(fuente: elaboración propia).

5. Sellado. Los machetes son sellados utilizando otra prensa.
6. Perforación. Se realizan los agujeros en el área del mango donde se insertarán los pines que lo sujetarán al machete.
7. Eliminación de rebabas. Un lote de seis piezas se transporta por una banda para remover las rebabas generadas durante los procesos anteriores.
8. Tratamiento térmico. Los machetes son sometidos a tratamiento térmico en un horno para alcanzar la dureza requerida.

   Al finalizar esta etapa, las piezas se sumergen en aceite para completar el proceso.
9. Revenido y prueba de flexión. Los machetes pasan por un horno de revenido para aumentar la dureza, especialmente en la punta. Posteriormente, se realiza una prueba de flexión; si el machete regresa a su forma original, pasa la prueba, de lo contrario, es enviado a reproceso a tratamiento térmico.
10. Pulido. El machete es pulido para eliminar impurezas y suciedad, logrando un acabado limpio.
11. Biselado. Una piedra forma el bisel, definiendo el área donde estará el filo del machete.
12. Inspección de alineación. Se inspecciona que el machete esté derecho; de no ser así, se endereza.
13. Aplicación de barniz. Se aplica una capa de barniz protector para prevenir la oxidación.
14. Inspección de calidad. El operador verifica que no haya manchas, defectos de sellado, referencias incorrectas, entre otros. Si se detecta algún problema, el machete es enviado a reproceso; de lo contrario, se aprueba.
15. Colocación del mango. Dependiendo de la referencia, el mango se fija al machete mediante una máquina pinadora. Alternativamente, algunos machetes pasan por un proceso de inyección de plástico para unir el mango al machete.
16. Empaque. Los machetes se empacan según la referencia:
    - Machetes con mangos de inyección de plástico: 12 piezas por caja.
    - Machetes con mangos fijados por pines: 24 o 60 piezas por caja.

1.3 Objetivos

En esta sección se presentarán el objetivo general y los objetivos específicos del presente proyecto de investigación. Es fundamental destacar que, para alcanzar el objetivo general, será indispensable cumplir con cada uno de los objetivos específicos planteados.

1.3.1 Objetivo General

En esta sección se expone de manera concisa y breve el objetivo general que se persigue con la ejecución del presente proyecto.

> Reducción de ineficiencias operativas en línea de producción de machetes de la empresa en estudio utilizando técnicas de *Lean Manufacturing*.

1.3.2 Objetivos específicos

Es esta sección se presentarán los objetivos que se desean alcanzar para la elaboración de este proyecto:

- Comprender los métodos de trabajo y los procesos de la empresa.
- Identificar cuellos de botella y fuentes de ineficiencia.
- Identificar áreas de oportunidad y definir un área piloto.
- Identificar el proceso principal en el área piloto.
- Detectar los problemas más relevantes en el área piloto.
- Establecer indicadores para evaluar el área piloto.
- Eliminar causas que generen tiempos elevados.
- Definir temas para la capacitación del personal para mantener la mejora.
- Definir actividades para el seguimiento de la implementación.

1.4 Justificación

La implementación de un proyecto de mejora en la línea de producción de machetes en la empresa en estudio es esencial no sólo para optimizar los procesos operativos y garantizar un entorno laboral más seguro y eficiente, sino también para generar un impacto socioeconómico positivo en la comunidad local.

La reciente incorporación de esta línea ha revelado desafíos significativos, como el desorden en el área de trabajo, la suciedad en los equipos y los prolongados tiempos de cambio, que afectan tanto la productividad como la seguridad del personal. La aplicación de técnicas de *Lean Manufacturing*, como SMED (*Single-Minute Exchange of Die*) y las 5S, permitirá reducir estos tiempos de preparación y mejorar la organización del espacio de trabajo, lo que se traduciría en un aumento en la eficiencia operativa. Este aumento en la eficiencia no sólo beneficiará a la empresa al mejorar su competitividad en el mercado, sino que también podrá traducirse en mayores ingresos y estabilidad laboral para los empleados, contribuyendo así al desarrollo económico de la región. Además, un ambiente laboral más limpio y seguro fomenta el bienestar del personal, lo que puede resultar en una mayor satisfacción y retención de trabajadores. En conjunto, estos factores no sólo mejoran el rendimiento interno de la empresa, sino que también fortalecen su papel como actor clave en el crecimiento socioeconómico local.

La razón académica del tesista en el desarrollo de este trabajo radica en la necesidad de aplicar teorías y metodologías aprendidas en la maestría en ingeniería industrial en la solución de problemas reales. La elección de implementar técnicas de *Lean Manufacturing* se fundamenta en la literatura existente que demuestra su efectividad para optimizar procesos, reducir desperdicios y mejorar la calidad del producto final. Este enfoque no sólo busca solucionar las dificultades operativas identificadas, como los prolongados tiempos de cambio y la desorganización en el área de trabajo, sino también contribuir al conocimiento académico al proporcionar un análisis detallado de la aplicación práctica de estas herramientas en un contexto específico.

1.5 Conclusión

El capítulo revisó la evolución de la manufactura y la implementación de metodologías de mejora continua, con la cual se mostró que la manufactura pasó por diversas etapas, desde técnicas artesanales hasta la producción en masa durante la Revolución Industrial, destacando la importancia de innovaciones como el uso de herramientas modernas y enfoques sostenibles en la producción. Se enfatizó la interrelación entre diseño, selección de materiales y procesos

de manufactura, subrayando que estas decisiones impactan directamente en la calidad y eficiencia del producto final.

Asimismo, con la descripción del panorama general de la empresa metalmecánica en estudio, se destacó su historia, su evolución a lo largo del tiempo y los diversos productos que fabrica, y la necesidad urgente de implementar técnicas de *Lean Manufacturing* para optimizar sus procesos y mejorar su eficiencia.

Capítulo 2
Marco teórico

En este capítulo se ofrece una visión general de las herramientas y técnicas de ingeniería industrial utilizadas en el desarrollo de este proyecto. Estas herramientas fueron elegidas con el objetivo principal de mejorar dos indicadores: tiempos de cambio y el espacio disponible; que impactan la productividad en la línea de producción de machetes de industria metalmecánica, aplicando los principios de L*ean Manufacturing.*

2.1 Panorama de las técnicas de mejora aplicadas

En esta sección se presenta el conjunto de técnicas clave que se aplicarán para abordar las ineficiencias operativas detectadas en la empresa y para proponer soluciones que incrementen su competitividad. Estas técnicas han sido agrupadas en categorías según su propósito y función dentro del proceso de mejora continua, como se ilustra en la Figura 2.1 una breve descripción de cada categoría se da a continuación:

- Herramientas de análisis de proceso. Se introducen herramientas esenciales como el Diagrama SIPOC, el Diagrama de Flujo y el *Value Stream Mapping* (VSM), utilizadas para entender y mapear los procesos, identificar áreas de mejora y optimizar el flujo de producción.
- Técnicas para generación de ideas y mejora. El *Brainstorming*, el Método por Puntos, la Matriz de Priorización y el Diagrama Ishikawa se utilizarán para generar ideas, evaluar soluciones y analizar causas raíz de los problemas operativos.
- Herramientas para el estudio de métodos y tiempos. El Estudio de Métodos y el Estudio de Tiempos servirán para analizar los procesos y tiempos de trabajo, optimizando la asignación de recursos y mejorando la eficiencia operativa.
- Técnicas de *lean manufacturing*. Se emplearán las 5S y SMED para mejorar la organización en el área de trabajo y reducir los tiempos de cambio de herramientas, optimizando el rendimiento y la productividad en la línea de producción.

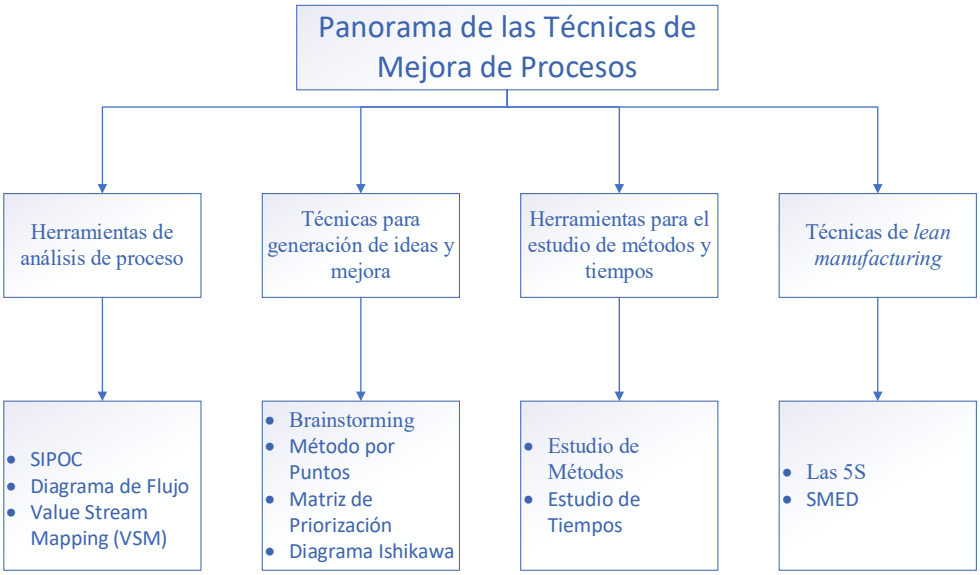


Figura 2.1. Panorama de las técnicas de mejora utilizadas en la empresa en estudio. (fuente: elaboración propia).

2.2 Herramientas de análisis de proceso

En esta sección se expondrán diferentes herramientas diseñadas para analizar y optimizar los procesos empresariales. Entre ellas se encuentran el diagrama SIPOC, el diagrama de flujo, el Mapeo de la Cadena de Valor (VSM) y el histograma. Estas herramientas ofrecerán una perspectiva clara y organizada de los procesos de la empresa estudiada, permitiendo identificar áreas con potencial de mejora.

- Diagrama SIPOC
- Diagramas de flujo
- *Value Stream Mapping* (VSM)
- Histograma

2.2.1 Diagrama SIPOC: herramienta para mejora de proceso

De acuerdo con Cañedo et al. (2012), el diagrama SIPOC es una herramienta gráfica utilizada para analizar y comprender los procesos desde un enfoque integral, permitiendo visualizar el flujo de un proceso de principio a fin y facilitando la identificación de los elementos clave

en cada etapa. En esta sección, se explorarán aspectos relevantes del Diagrama SIPOC, organizados en los siguientes puntos:

- Significado del diagrama SIPOC.
- Significado de las siglas SIPOC.
- Instrucciones para generar un diagrama SIPOC.
- Ventajas del diagrama SIPOC.

2.2.1.1 Significado del diagrama SIPOC

Cañedo et al. (2012) menciona que comprender cada proceso, es fundamental identificar sus entradas para establecer los parámetros o requisitos que los clientes esperan. La técnica SIPOC facilita este análisis al detallar quiénes son los proveedores del proceso, las entradas que cada uno aporta, las etapas o fases que componen el proceso, las salidas que genera y los clientes, tanto internos como externos, que las reciben.

Este enfoque se emplea principalmente para identificar las variables de entrada y salida, permitiendo un análisis posterior más profundo. Además, al definir las fases generales del proceso, se pueden realizar estudios más detallados de estas etapas en la gestión de procesos (González y Escobar, 2021).

2.2.1.2 Significado de las Siglas SIPOC

El diagrama SIPOC (Figura 2.2), es la representación visual de un proceso de gestión que facilita la compresión de éste. SIPOC viene de las siglas en ingles de *Supplier – Inputs – Process - Out-puts - Customers* (González y Escobar, 2021).

- **Proveedor (*Supplier*)**. Es quien proporciona las entradas al proceso. Puede ser una persona u otro proceso.
- **Entradas (*Inputs*)**. Se refiere a todos los elementos necesarios para ejecutar el proceso, incluyendo recursos, información y materiales.
- **Proceso (*Process*)**. Consiste en las actividades que convierten los recursos en productos.

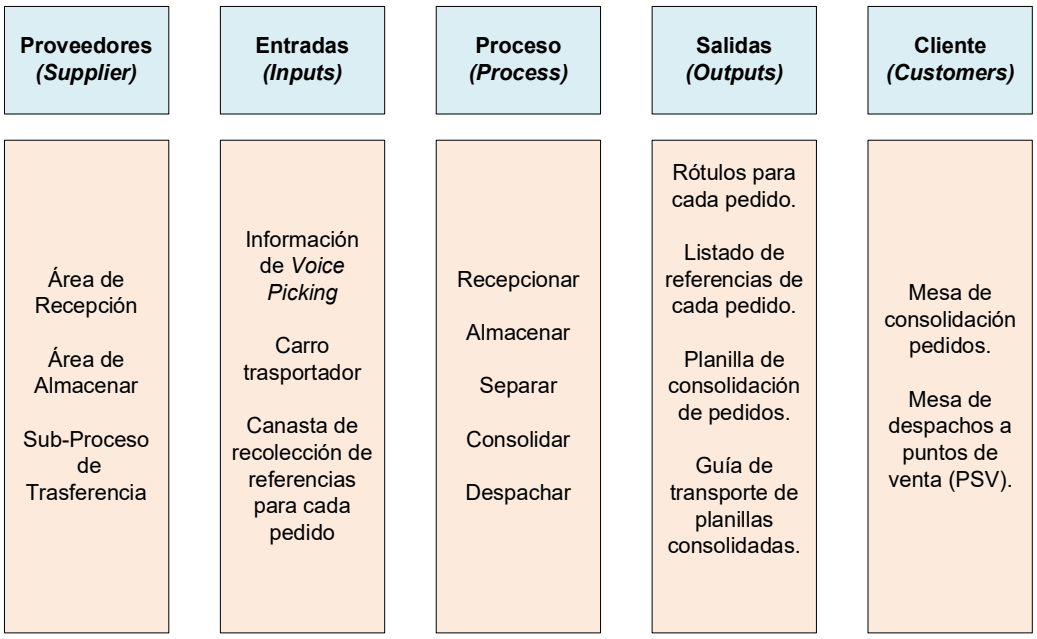


Figura 2.2. Ejemplo de Diagrama SIPOC.
(González y Escobar, 2021).

- **Salidas (*Outputs*)**. Es el producto o servicio generado como resultado de cada proceso.
- **Cliente (*Customers*)**. Es la entidad o persona que recibe el resultado de las actividades realizadas.

2.2.1.3 Instrucciones para generar un diagrama SIPOC

A juicio de Falcó (2009), identifica los siguientes elementos; esenciales en cada etapa para estructurar un diagrama SIPOC:

- Determinar los proveedores de los materiales o servicios externos en cada fase. Esta información se anota en la columna "Proveedores".
- Identificar los materiales o servicios externos recibidos en cada fase. Estos se registran en la columna "Entradas".
- Dividir el proceso en fases relevantes, los cuales deben colocarse en la columna "Proceso".
- Especificar las entregas al final de cada fase. Éstas se documentan en la columna "Salidas".

- Indicar quién recibe la salida de cada fase. Esta información se muestra en la columna "Clientes"

2.2.1.4 Ventajas del diagrama SIPOC

Según González y Escobar (2021), la principal ventaja del diagrama SIPOC es su capacidad para proporcionar una visión clara y estructurada de un proceso, desde el inicio hasta el final. Facilitando la identificación de los proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes involucrados, lo que resulta esencial para:

- La claridad en la visualización del proceso. Proporciona una visión clara de un proceso, facilitando la compresión de sus componentes claves.
- La identificación de desperdicios. Permite identificar actividades que agregan valor y aquellas que no lo hacen.
- Una comunicación efectiva. Proporciona una representación visual que facilita la compresión entre equipos multidisciplinarios.
- El soporte en toma de decisiones. Proporciona información que puede ser utilizada para tomar decisiones sobre mejoras del proceso, incrementar la eficiencia y reducir costos.

2.2.2 Diagrama de flujo como herramienta de representación de procesos

De acuerdo con Ugalde (2005) el diagrama de flujo es una herramienta gráfica utilizada para representar de manera clara y estructurada la secuencia de operaciones en un procedimiento, mostrando el recorrido de las áreas involucradas. Su simplicidad lo convierte en una herramienta invaluable para la comprensión de procesos. En esta sección se analizarán los aspectos fundamentales de un diagrama de flujo, organizados por los siguientes puntos:

- Significado del diagrama de flujo.
- Simbología de diseño.
- Pasos para elaborar un diagrama de flujo.
- Ventajas del diagrama de flujo.

2.2.2.1 Significado del diagrama de flujo

Un diagrama de flujo es una representación gráfica que ilustra la secuencia de operaciones en un procedimiento, así como el recorrido de materiales o formularios, destacando los puestos o áreas involucradas. Estos diagramas se caracterizan por su simplicidad y claridad, lo que facilita la comprensión visual del proceso y de las actividades que lo componen (Ugalde, 2005).

Los diagramas de flujo son una herramienta de decisión de gran valor, tanto para los individuos como para la organización. Para los colaboradores, proporcionan una visión clara y detallada de la secuencia de actividades a realizar, mientras que para la organización facilitan el seguimiento de las operaciones más importantes y sus correspondientes procesos (Ugalde, 2005).

2.2.2.2 Simbología de diseño

Según Ugalde (2005) la simbología básica, utilizada para el diseño y elaboración de un diagrama de flujo y que constituye una herramienta fundamental en la representación gráfica de procesos, se encuentra detallada en la Tabla 2.1. Esta simbología permite estandarizar la interpretación de las distintas actividades, decisiones y flujos de información, facilitando así la interpretación y análisis de los procesos representados.

El uso correcto de la simbología es esencial para garantizar que los diagramas de flujo sean claros, precisos y funcionales, para convertirse en un recurso valioso en la planificación, optimización y comunicación dentro de contextos industriales.

2.2.2.3 Pasos para elaborar un diagrama de flujo

Como afirman García y Solano (2017), mencionan los siguientes aspectos para realizar un diagrama de flujo adecuado:

1. Todo diagrama de flujo debe incluir un inicio y un final.
2. Las líneas de flujo deben indicar claramente la dirección del diagrama y pueden ser verticales u horizontales.
3. Las líneas que representan el flujo del diagrama deben estar conectadas a un símbolo.

Tabla 2.1. Simbología para un Diagrama de flujo. (Ugalde, 2005).

Símbolo	Nombre de la figura	Significado
	Elipse	Representa el inicio y el fin de un proceso.
	Rectángulo	Ejemplifica la función de un proceso. En éste se coloca la instrucción de lo que debe ejecutarse.
	Línea	Indica la dirección del flujo de las operaciones dentro del diagrama.
	Rombo	Indica el flujo de información basado en respuestas alternativas de "Sí" o "No".
	Hoja de papel impresa	Representa la salida de datos en un documento físico.
	Paralelogramo	Indica la entrada y salida de información en cualquier parte del sistema.
	Pentágono	Conecta un objeto que se encuentra en otra página.
	Triángulo invertido	Representa la acción de guardar o almacenar documentos, productos o materiales.
	Triángulo	Representa la acción de extraer productos o materiales.

4. El diagrama debe construirse de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.
5. Se recomienda utilizar símbolos universales en lugar de aquellos específicos de un solo lenguaje de programación.
6. Si es necesario incluir comentarios para facilitar la comprensión de la simbología, se aconseja hacerlo.
7. En caso de que el diagrama sea extenso, es importante utilizar y numerar adecuadamente los símbolos.
8. Cada símbolo debe recibir sólo una línea de dirección de flujo.

2.2.2.4 Ventajas del diagrama de flujo

Los diagramas de flujo son herramientas poderosas que simplifican la representación de procesos complejos, su uso ofrece las siguientes ventajas (Ugalde, 2005):

- Representa las actividades que integran un procedimiento utilizando símbolos y textos breves.

- Facilita al personal encargado de ejecutar los procedimientos identificar rápidamente cómo llevar a cabo sus tareas de manera efectiva.
- Promueve la comprensión de un procedimiento en todos los niveles jerárquicos de la organización.

2.2.3 Introducción al *Value Stream Mapping* (VSM)

El *Value Stream Mapping* (VSM) es una herramienta que permite analizar la cadena de valor de un proceso productivo a través de una representación gráfica identificando actividades que aportan valor y aquellas que no lo hacen. En esta sección, se abordarán los conceptos clave de un VSM, incluyendo:

- Significado de *Value Stream Mapping* (VSM).
- Limitaciones y aplicaciones para su usar VSM.
- Simbología de un VSM.
- Pasos para realizar un VSM
- Datos básicos en la caja de datos de un VSM.

2.2.3.1 Significado de *Value Stream Mapping* (VSM)

Como señala Cabrera (2020), el VSM es una herramienta que se enfoca en analizar la cadena de valor. Este análisis abarca tanto las actividades que generan valor como aquellas que no lo generan, pero que son indispensables para que el producto avance a través de sus principales flujos. En este sentido, el VSM permite a las empresas representar gráficamente su cadena de suministro, facilitando la comprensión del flujo de materiales e información de un producto.

Esta herramienta de visualización es diseñada específicamente para el enfoque de *Lean Manufacturing* desarrollado por Toyota (Sistema de Producción Toyota), facilitando la comprensión y optimización de los procesos de trabajo mediante la aplicación de herramientas y técnicas propias de *Lean Manufacturing* Ortiz (2024).

Según menciona Ortiz (2024), el conjunto de acciones específicas requeridas para obtener un producto determinado, abarcando los siguientes tres aspectos fundamentales de la gestión, en cualquier negocio:

- Resolución de problemas.
- Gestión de información.
- La transformación física.

Un VSM es una herramienta de análisis que permite visualizar y comprender la información de manera integral, ya que ofrece una representación clara y completa en una sola hoja. Socconini (2020) menciona que el VSM ofrece lo siguiente:

- La solicitud del cliente y el método para confirmar los pedidos.
- La demanda hacia los proveedores y el procedimiento para confirmar los pedidos.
- La manera de planificar la producción y las compras.
- El proceso de entrega tanto de los proveedores como hacia el cliente.
- La secuencia de operaciones en el proceso de producción.
- La información pertinente relacionada con cada operación.
- Los inventarios de materias primas, en proceso y productos terminados.
- El tiempo que aporta valor y el que no lo hace.
- Los plazos de entrega desde las materias primas hasta el producto final.

2.2.3.2 Limitaciones y aplicaciones para usar VSM

El VSM, a menudo combinado con un análisis de tecnología de grupo, puede ser una opción más adecuada en distintos contextos (Tabla 2.2), ya que permite identificar grupos de productos o componentes con características similares y diseñar estrategias efectivas para gestionar la complejidad (Brad, 2006).

En los siguientes puntos, se profundiza cada una de las limitaciones de la Tabla 2.2, y como impactan en el uso del VSM (Brad, 2006):

Tabla 2.2. Limitaciones para el uso del VSM. (Brad, 2006).

Limitaciones	Se aplica	Podría no aplicar
Volúmenes	Altos volúmenes	Volúmenes bajos
Variedad	Baja variedad	Poca variedad
Equipamiento	Equipos delicados	Equipos múltiples compartidos
Ruteo	Ruteo Simple	Ruteo complejo
Componentes	Pocos	Muchas partes y subensambles
Estrategia	Sistema de Producción Toyota	No Toyota y variaciones de Toyota

- **Volumen**. Un volumen bajo en sí mismo no necesariamente impide el uso del VSM. Sin embargo, los bajos volúmenes están asociados con una demanda errática, ruteos complejos y equipos compartidos. Estas características suelen ser problemáticas para el VSM.
- **Variedad**. La clave sobre la variedad es si los productos son significativamente diferentes en manufactura y requieren procesos distintos. Si la respuesta es sí, el uso de mapas de flujo de valor (VSM) se complica. Sin embargo, si las diferencias son mínimas en términos de manufactura, el VSM sigue siendo efectivo, incluso con alta variedad desde la perspectiva del cliente.
- **Equipamiento.** Cuando sólo unos pocos productos comparten un equipo, el VSM puede ser eficaz. No obstante, si decenas o cientos de artículos utilizan el mismo equipo, con diferentes ruteos, lotes y patrones de demanda, el VSM no puede representar claramente toda la información necesaria.
- **Ruteos.** Si todos los productos pasan por los mismos equipos o procesos en la misma secuencia, el VSM se aplica bien. Pero cuando existen múltiples ruteos, secuencias diferentes y patrones de demanda variados, se requiere un análisis más complejo.
- **Componentes**: Cuando un producto final incluye numerosas partes y subensambles, un mapa de flujo de valor puede volverse grande, complejo y difícil de interpretar. Si la mayoría de los *ítems* pueden agruparse en la misma corriente de procesos, el VSM puede funcionar bien. Sin embargo, con múltiples subensambles u otras variaciones de ruteo, es más adecuado utilizar otros métodos.

- **Estrategia.** El VSM está fuertemente orientado a la versión de manufactura esbelta desarrollada por Toyota. Aunque prácticamente todas las industrias utilizan al menos algunas herramientas y técnicas de Toyota, pueden darse situaciones en las que otras no sean aplicables. En tales casos, el VSM puede llevar a soluciones subóptimas.

2.2.3.3 Simbología de un VSM

Según García y Amador (2019), para la elaboración de un VSM recomienda utilizar la siguiente simbología:

- Íconos de Materiales. Indican el almacenamiento y transporte de materiales, actividades que comúnmente no aportan valor al proceso (Tabla 2.3).
- Íconos de Proceso. Representan elementos como equipos, grupos de trabajo, departamentos, proveedores y clientes, asociando el tiempo empleado en estas áreas con actividades que generalmente agregan valor (Tabla 2.4).
- Íconos de Información. Reflejan datos relacionados con el sistema productivo, incluyendo el flujo y la gestión de información (Tabla 2.5).

Tabla 2.3. Relación de iconos de materiales. (García y Amador, 2019).

Símbolo	Significado
	Inventario de materia prima, producto en proceso o terminado.
	Trasporte mediante camión de carga.
	Transporte aéreo.
	Flecha de empuje que conectar el flujo de materiales a través de un sistema *push.*
	Flecha de arrastre que conectar el flujo de materiales a través de un sistema *pull.*
	Flujo de materiales entre operaciones cuándo éste se realiza mediante una secuencia.
	Representación de inventario. Regula la producción de acuerdo con la demanda existente.

Tabla 2.4. Relación de iconos de proceso.
(García y Amador, 2019).

Símbolo	Significado
	Representación de clientes y proveedores.
	Operación del proceso.
	Casillero de datos con indicadores de proceso.
	Pronóstico, planificación o programación en proceso.
	Relámpago *Kaizen*, simboliza los puntos donde se deben realizarse mejoras.
	Línea de tiempo, ilustra los tiempos de ciclo, entre las actividades que agregan valor y las que no lo hacen.
	Representación de un operador.

Tabla 2.5. Relación de iconos de información.
(García y Amador, 2019).

Símbolo	Significado
	Información transmitida de forma manual.
	Información transmitida de forma electrónica.
	Kanban de producción.
	Kanban de transporte.
	Representación de un punto mínimo de nivel de inventario.
	Bandeja de *Kanban.*
	Recopilación de información a través de medios visuales.
	Flujo de conversación verbal o personal.

2.2.3.4 Pasos para realizar un VSM

Brad (2006) propone dieciséis pasos para elaborar un VSM de manera adecuada, los cuales son los siguientes:

1. Dibujar los iconos del cliente, proveedor y control de producción (Figura 2.3).
2. Registrar los requerimientos del cliente por mes o por día (Figura 2.3).
3. Calcular la producción diaria y los requerimientos de contenedores (Figura 2.3).
4. Dibujar el icono de envíos salientes e icono de un camión para representar la frecuencia de entrega (Figura 2.3).
5. Dibujar el icono de envíos entrantes, icono del camión y datos de la frecuencia de entrega (Figura 2.3).
6. Dibujar cuadros para cada proceso en secuencia, de izquierda a derecha (Figura 2.4).
7. Añadir cuadros de datos debajo de los cuadros de proceso y una línea de tiempo para las actividades con y sin valor agregado (Figura 2.4).
8. Añadir flechas de comunicación e indicar métodos (Figura 2.4).
9. Incorporar atributos de los procesos en los cuadros de datos (Figura 2.4).
10. Añadir símbolos y números de operadores (Figura 2.4).
11. Incluir ubicaciones y niveles de inventario en unidades de producción (Figura 2.5).
12. Incorporar iconos de empuje, arrastre y FIFO (Figura 2.5).
13. Especificar las horas de trabajo (Figura 2.5).
14. Calcular los tiempos de entrega (*Lead Time*) (Figura 2.5).
15. Determinar el tiempo total de ciclo y el tiempo de entrega total (Figura 2.5).

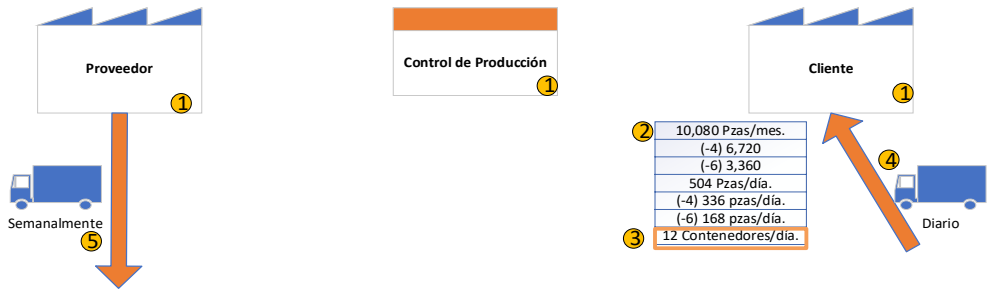


Figura 2.3. Pasos 1 al 5 para elaborar un VSM. (Brad, 2006).

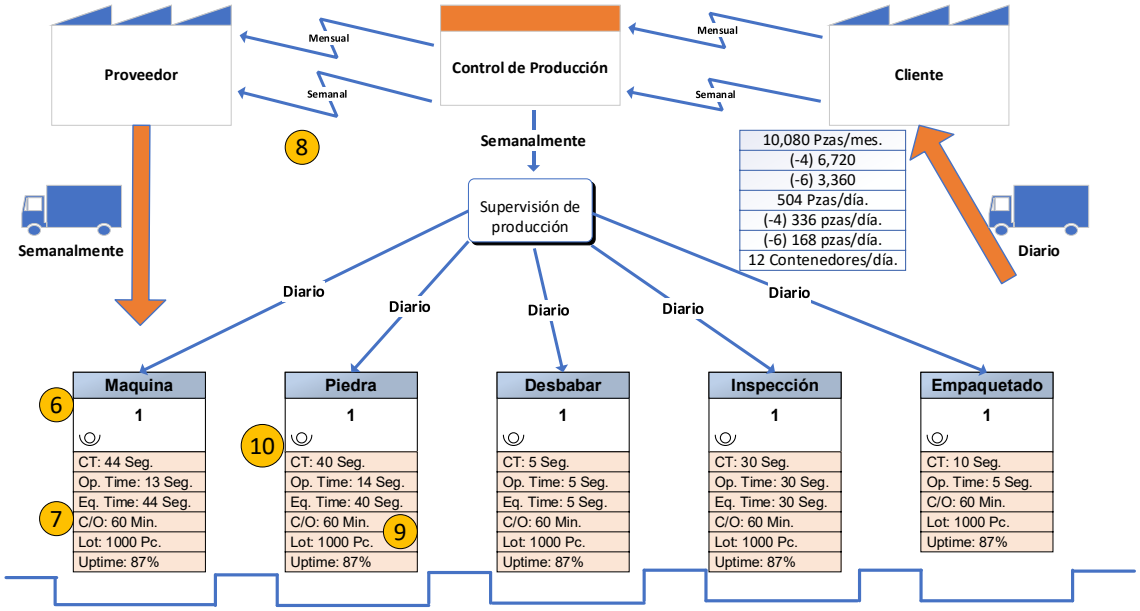


Figura 2.4. Pasos 6 al 10 para elaborar un VSM. (Brad, 2006).

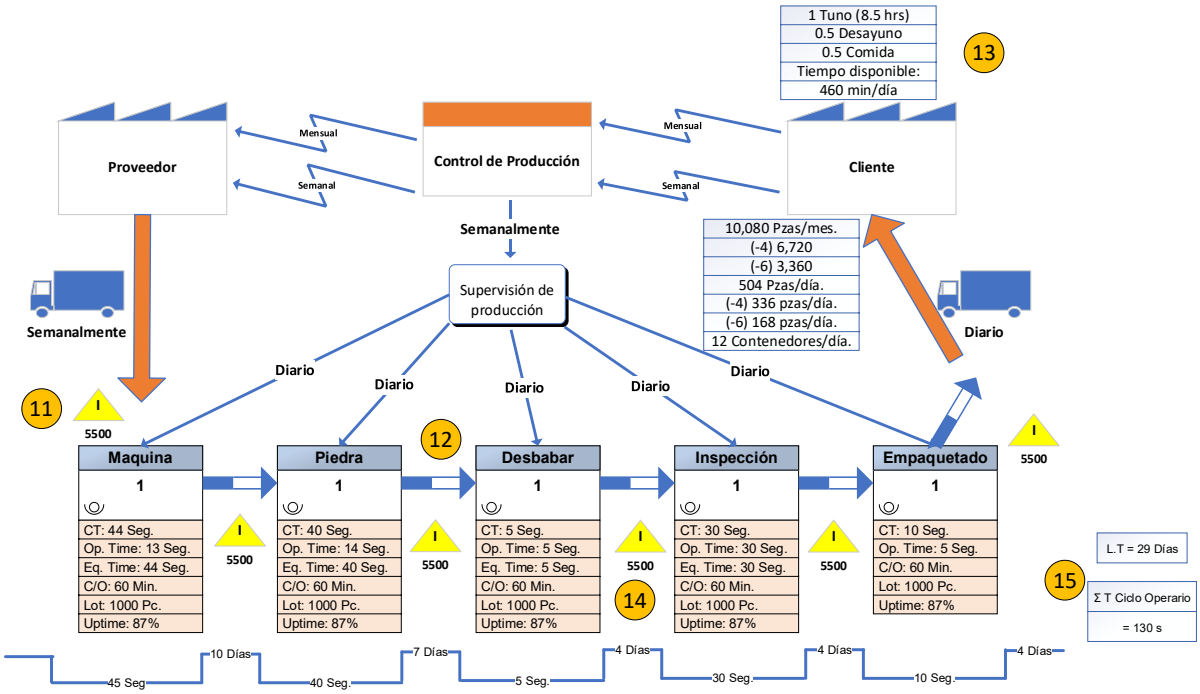


Figura 2.5. Pasos 11 al 15 para elaborar un VSM. (Brad, 2006).

2.2.3.5 Datos básicos en la caja de datos de un VSM

Según Brad (2006), el VSM busca definir con precisión la información que debe incluirse en una caja de datos. Para ello, recomienda incorporar únicamente datos relevantes y útiles, siempre que no compliquen ni dificulten la interpretación del mapa. A continuación, se presenta la información esencial que debe contener dicha caja de datos:

- Tiempo de ciclo. Duración necesaria para completar la producción de una unidad.
- Tiempo del operador. Periodo durante el cual un operador está trabajando en la fabricación de una pieza.
- Tiempo de máquina. Tiempo en el cual una máquina o equipo está siendo utilizado para producir una pieza.
- Disponibilidad. Tiempo diario en el que una estación de trabajo puede estar activa para producir.
- Porcentaje de disponibilidad (*Uptime)*. Tiempo disponible en el que la estación puede operar sin interrupciones por mantenimiento o fallos.

2.2.4 Histograma

Gutiérrez et al. (2004) menciona que un histograma es una representación gráfica que resume la variabilidad de un conjunto de datos. Su formato visual facilita la identificación de patrones que podrían pasar desapercibidos en una tabla numérica.

En la opinión de Rivas et al. (2020), el histograma es una herramienta que se utiliza para resumir las frecuencias de una variable cualitativa. Cada barra representa una categoría de la variable, y su longitud es proporcional a la cantidad correspondiente, ya sea en términos absolutos (frecuencia) o relativos (porcentajes).

El ancho de las barras puede disponerse en orientación vertical u horizontal. Generalmente, el eje Y indica las frecuencias o porcentajes, mientras que el eje X muestra las distintas categorías. Las categorías deben ordenarse de acuerdo a su jerarquía; de mayor a menor (Rivas et al., 2020).

2.3 Técnicas para generación de ideas y mejora

En esta sección se presentan diversas herramientas diseñadas para fomentar la creatividad y optimizar procesos. Entre ellas destacan la lluvia de ideas, el método por puntos y el diagrama de *Ishikawa*, técnicas que facilitan la identificación de oportunidades de mejora dentro de la empresa analizada. Al aplicar estos enfoques, se logra una visión estructurada que permite detectar áreas clave para la optimización y la innovación.

2.3.1 Luvia de ideas *(Brainstorming)*

De acuerdo con Delgado (2021), el concepto de *"Brainstorming",* conocido en español como "lluvia de ideas", fue introducido por Alex Osborn en 1954. Esta técnica se considera una estrategia educativa que fomenta el pensamiento analítico y la creatividad. Consiste en la formación de grupos de trabajo que generan ideas de forma espontánea frente a un tema o pregunta específica, explorando alternativas y desarrollando diversas opciones o posibilidades. En la Figura 2.6 se presenta una representación gráfica del proceso de lluvia de ideas, ilustrando la dinámica de interacción entre los participantes y el flujo de generación de ideas.

Citando a la Universidad del Desarrollo (2021), la estrategia de *Brainstorming* implica reunir varios grupos de entre 6 y 12 miembros, establecer normas y designar a un líder o coordinador por grupo, quien se encargará de presentar el tema de forma clara y concisa en un tiempo de 10 a 12 minutos. Los grupos deben generar la mayor cantidad de ideas posible, todas las cuales serán consideradas. Al final, las ideas se presentan, se analizan y se discuten. El resultado de esta estrategia es la resolución de problemas mediante la propuesta de diversas soluciones.

Figura 2.6. Luvia de ideas.
(fuente: elaboración propia).

2.3.1.1 Reglas fundamentales de la lluvia de ideas

Según la Universidad del Desarrollo (2021), es fundamental tener en cuenta ciertos aspectos que permiten establecer la técnica de lluvia de ideas de manera efectiva. Esto no sólo asegura un ambiente de respeto entre los participantes, sino que también facilita una aplicación fluida de la técnica. Las reglas que deben considerarse son las siguientes:

- No se permite criticar las ideas propias ni las de los demás.
- Crear un ambiente donde todos puedan expresarse libremente. Nadie debe temer presentar sus ideas ante el grupo, por muy absurdas que puedan parecer.
- Fomentar la generación de la mayor cantidad de ideas posible. Cuantas más ideas surjan en el grupo, mayores serán las posibilidades de encontrar ideas valiosas, por lo que nunca se debe detener el flujo de ideas.
- Intentar combinar las ideas. Se debe buscar la manera de fusionar dos o más ideas en una nueva propuesta.

2.3.1.2 Pasos para realizar una lluvia de ideas

Desde la posición de Macmillan Profesional (2017), llevar a cabo una sesión de lluvia de ideas efectiva requiere seguir una serie de pasos que facilitan la dinámica y fomentan la participación activa de todos los integrantes del grupo. A continuación, se detallan estos pasos:

- Se establece el problema que se presentará a los participantes.
- Se designa un líder que guiará la técnica, asegurando que el proceso sea fluido y eficiente.
- Se explica, Antes de iniciar la lluvia de ideas, en qué consiste el ejercicio, cuál es su objetivo y las reglas por seguir.
- Se da la oportunidad a los participantes para que compartan sus ideas de forma libre sin llegar a conclusiones en esta fase. Cuantas más ideas se generen, más cerca se estará de encontrar una solución creativa al problema.
- Se anotan las ideas en una pizarra, libreta o computadora para garantizar que no se pase por alto ninguna propuesta.

- Se concluye la actividad cuando ya no se presentan nuevas ideas.
- Se analizan, evalúan y organizan las ideas para determinar su relevancia en función del objetivo que se buscaba alcanzar con esta técnica.

2.3.1.3 Ventajas y desventajas de la lluvia de ideas

Según Saavedra (2023), el uso de la técnica "lluvia de ideas" se ha vuelto muy común en sectores donde la innovación es crucial para quienes la implementan. Sin embargo, antes de aplicar esta técnica, es fundamental considerar sus ventajas y desventajas, las cuales se detallan en la Tabla 2.6.

2.3.2 Método por puntos

Baca (2010) menciona que el método por puntos (Tabla 2.7), es una técnica que se emplea para la selección de proyectos o ideas mediante la asignación de valores numéricos a distintos factores clave, los cuales son definidos y evaluados por el equipo de trabajo. Su correcta aplicación garantiza una selección objetiva, evitando la arbitrariedad y contribuyendo a un desarrollo más estructurado del proyecto o idea, en concordancia con los objetivos planteados.

Tabla 2.6. Ventajas y desventajas de la lluvia de ideas. (Saavedra, 2023).

Ventajas	Desventajas
Fortalece la colaboración entre los miembros del equipo y crea un ambiente participativo.	La búsqueda de ideas tiene un carácter espontáneo, lo que no implica un análisis profundo y no garantiza que se seleccione la mejor idea.
Aumenta la productividad del equipo y ayuda a buscar soluciones a un problema planteado.	A pesar de que evitar críticas es uno de los objetivos principales, los participantes pueden sentirse vulnerables al exponer sus ideas.
Mejora la comunicación dentro del equipo, ya que los participantes deben escuchar y tomar en cuenta las propuestas de los demás.	Puede incentivar la falta de compromiso laboral, ya que un integrante puede apoyarse en el trabajo de los demás sin realizar aportes personales.
Promueve la generación de ideas innovadoras, evitando críticas duras que afectan el aporte creativo de los miembros.	Es difícil establecer la autoría de cada idea en particular, lo que puede generar disputas sobre quién fue el primero en inventarla.

Tabla 2.7. Tabla de método por puntos.
(fuente: elaboración propia).

Valoración de las líneas de producción					
Pesos establecidos por:	---	**Contados por:**	---	**Planta:**	---
Calificado por:	---	**Aprobado por:**	---	**Fecha:**	---

Escala para evaluación			
A	---	O	---
E	---	U	---
I	---	X	---

Descripción a evaluar	
1.	---
2.	---
3.	---
4.	---

No.	Factores prioritarios	Peso	Opciones a evaluar			
			1	2	3	4
1	---	---				
2	---	---				
3	---	---				
4	---	---				
5	---	---				
	Total:					

Por otro lado, Villalobos (2015) menciona que el método por puntos permite la selección de alternativas en una amplia variedad de situaciones donde un enfoque cualitativo no resulta adecuado. Esto se debe a que posibilita la evaluación de múltiples factores que los métodos cualitativos no pueden abordar debido a su naturaleza no cuantificable.

Para la aplicación del método por puntos es necesario contar con un experto que determine la relevancia de cada factor y, al mismo tiempo, valore cada alternativa según el grado en que cumple con dichos criterios.

2.3.2.1 Pasos para la aplicación del método por puntos

Para asegurar una aplicación efectiva del método por puntos, es fundamental seguir una serie de pasos que garantizan su adecuado desarrollo. Según Baca (2010), la siguiente secuencia de pasos son esenciales para el éxito de la implementación del método por puntos:

1. Crear un listado de factores significativos.

2. Asignar un peso a cada factor para reflejar su importancia relativa (los pesos deben totalizar 1.00), siendo el criterio de asignación exclusivamente del investigador.
3. Establecer una escala común para cada factor (por ejemplo, de 0 a 10) y seleccionar un mínimo.
4. Evaluar cada sitio potencial según la escala establecida y multiplicar la calificación por su peso correspondiente.
5. Sumar las puntuaciones de cada sitio y seleccionar el que obtenga la mayor puntuación.

2.3.2.2 Ventajas del método por puntos

Como lo expresan Cadena et al. (2017) y Flores (2024), el método por puntos se destaca como una de las técnicas más utilizadas debido a su versatilidad y facilidad de aplicación. Permitiendo evaluar y comparar diversas alternativas de manera estructurada. Las ventajas que destacan son las siguientes:

- Simplicidad: Se trata de un método que es fácil de comprender y utilizar, sin necesidad de realizar cálculos complicados ni de tener un profundo conocimiento en técnicas financieras avanzadas.
- Comparabilidad: Facilita la comparación de proyectos con características o magnitudes diversas, ya que, al emplear una escala de puntos, se pueden estandarizar y evaluar diferentes aspectos de cada proyecto de manera uniforme.
- Integralidad: Toma en cuenta diversos factores y criterios de evaluación, lo que proporciona una perspectiva más amplia del proyecto. Se pueden incluir elementos económicos, sociales, técnicos y ambientales en la valoración.
- Flexibilidad: Este enfoque se puede adaptar a distintos contextos y tipos de proyectos, permitiendo que los criterios y su peso se ajusten de acuerdo con las necesidades y prioridades particulares de cada organización.

2.3.3 Matriz de priorización

De acuerdo con Camisón et al. (2006), la matriz de priorización es una herramienta diseñada para clasificar y jerarquizar actividades, aspectos o características de productos y servicios

con base en criterios de ponderación establecidos. Su propósito principal es facilitar la toma de decisiones.

Por otra parte, Medina et al. (2010) define a la matriz de priorización como una herramienta utilizada para determinar el nivel de importancia de las cadenas productivas, sectores estratégicos, así como de distintos productos y servicios. Su aplicación permite asignar recursos de manera eficiente, enfocándose en aquellos elementos que generan mayor valor o impacto dentro de un proceso productivo o en la toma de decisiones estratégicas.

Para la elaboración de la matriz de priorización se emplea el método del criterio analítico completo.

2.3.3.1 Aplicaciones para la matriz de priorización

Según Camisón et al. (2006), la matriz de priorización resulta especialmente útil en situaciones donde:

- Se poseen distintas opciones y hay que realizar una selección.
- Existe desacuerdo respecto a la importancia relativa de los criterios de selección para las opciones.
- Las opciones generadas están muy relacionadas entre sí.
- Los recursos son escasos para implantar el programa de mejora.

Esta herramienta no sólo facilita la priorización de alternativas, sino que también promueve un enfoque analítico y estructurado en la toma de decisiones. Al proporcionar un criterio claro para evaluar y comparar opciones, ayuda a reducir la subjetividad y a optimizar el uso de los recursos disponibles (Camisón et al., 2006).

2.3.3.2 Método del criterio analítico completo

De acuerdo con Camisón et al. (2006), la aplicación del método del criterio analítico completo está justificada en situaciones que requieren un análisis detallado y estructurado para garantizar decisiones fundamentadas. Aunque es un método laborioso y costoso, su uso resulta adecuado cuando:

1. La decisión por tomar es crítica para la organización.
2. Existe más de un criterio que puede ser aplicado en la toma de decisiones.
3. Todos los criterios son relevantes y significativos.

Según Camisón et al. (2006), los pasos a seguir para aplicar el método del criterio analítico son los siguientes:

1. **Definir el objetivo a conseguir.** Se trata de definir claramente cuál es el objetivo por alcanzar.
2. **Creación del listado de criterios a aplicar a las opciones generadas.** Se debe establecer una serie de criterios para poder llevar a cabo el proceso de priorización entre las opciones. Es muy importante que los criterios sean juicios, es decir, no neutrales, de forma que reflejen el resultado deseado.
3. **Juzgar la importancia relativa de cada criterio en comparación con los otros criterios.** A partir del listado de criterios generados (paso 2), se determina la importancia de cada uno de ellos, es decir, se valora cada criterio asignándole una puntuación. Para ello, se realizan los siguientes pasos:
    - Comparar la importancia relativa de cada criterio respecto al resto de los criterios utilizando una escala predefinida, por ejemplo:
        - 1 = Igualdad en importancia.
        - 2 = Más importante.
        - 3 = Significativamente más importante
    - Completar la matriz registrando en las celdas los valores inversos a sus simétricos.
    - Sumar las puntuaciones de cada columna y anotar el total global.
    - Sumar los valores de cada fila de la matriz y dividir el valor total obtenido de cada fila entre el total global para convertirlo en un porcentaje. Este porcentaje es la puntuación ponderada que se utilizará como multiplicador en la matriz final de comparación de todas las opciones.

    La matriz de la Tabla 2.8, con base los criterios de este paso, se puede interpretar de la siguiente manera:

Tabla 2.8. Evaluación de cada criterio.
(Camisón et al., 2006).

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Puntaje total	Importancia relativa total
Criterio 1		5	5	10	0.78
Criterio 2	1/5		2	2.2	0.17
Criterio 3	1/5	1/2		0.7	0.05
Total columna	0.4	5.5	7	12.9	100

- El criterio 1 es significativamente más importante que el criterio 2 y el criterio 3.
- El criterio 2 es menos importante que el criterio 1, pero se considera más importante que el criterio 3.
- El criterio 3 se considera menos importante que el 1 y el 2.

4. **Comparar todas las opciones consideradas con los criterios ponderados.** En este paso se analiza cómo cada una de las actividades u opciones contribuye a satisfacer cada uno de los criterios seleccionados. Se tienen tantas matrices como criterios se hayan generado y se procede a completarlas conforme a lo explicado en el paso 3. La Tabla 2.9 es un ejemplo de estas matrices.
5. **Comparar cada opción con base en la combinación de todos los criterios.** Para esto se realiza lo siguiente:
   - Se construye una matriz en donde:
     - Se registran los nombres de las diferentes opciones en las filas de la primera columna.
     - Se coloca el nombre de importancia relativa de los criterios en la última fila, de la primera columna.
     - Se registran los nombres de todos los criterios en las columnas 2 en adelante.
   - Trasferir a la Tabla 2.10 la importancia relativa total de cada criterio, de la matriz obtenida en el paso 3 (Tabla 2.8), a la última fila debajo de las columnas correspondientes a cada criterio.

Tabla 2.9. Matriz evaluando cada opción con base al criterio 3.
(Camisón et al., 2006).

Priorización del criterio 1							
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Opción 5	Puntaje	Contribución total
Opción 1		1/5	1/5	1/5	1/5	0.8	0.2
Opción 2	5		1/2	1/5	1/5	5.9	0.13
Opción 3	5	2		1/5	1/5	7.4	0.16
Opción 4	5	5	5		1	16	0.35
Opción 5	5	5	5	1		16	0.35
Total de columna	20	12.2	10.7	1.6	1.6	46.1	1

Tabla 2.10. Llenado de matriz de priorización. (Camisón et al., 2006).

	Contribución total			
	Criterio 1	**Criterio 2**	**Criterio 3**	**Puntaje**
Opción 1	0.35	0.02	0.02	
Opción 2	0.04	0.14	0.13	
Opción 3	0.04	0.14	0.16	
Opción 4	0.29	0.35	0.35	
Opción 5	0.29	0.35	0.35	
Importancia relativa total	0.78	0.17	0.05	1

- Transferir a la Tabla 2.10 las contribuciones totales para cada opción con base a cada criterio evaluado, las cuales están en cada matriz realizada en el paso 4 (la Tabla 2.9 es un ejemplo para el criterio 3 contra todas las opciones).
- Multiplicar la importancia relativa total por la contribución total. El resultado se colocó en la intercepción del proceso y del criterio multiplicado, como se muestra Tabla 2.11.
- Sumar los resultados de las multiplicaciones de cada opción (de cada renglón de la Tabla 2.11) y se registra el resultado en la columna “Puntaje” de la Tabla 2.12.
- Los puntajes se convierten a porcentajes dividiéndolos entre la suma de la importancia total (Tabla 2.12).

Tabla 2.11. Multiplicación de la importancia relativa total por la contribución total de cada criterio. (Camisón et al., 2006).

	Contribución total			
	Criterio 1	**Criterio 2**	**Criterio 3**	**Puntaje**
Opción 1	0.35*0.78	0.02*017	0.02*0.05	
Opción 2	0.04*0.78	0.14*017	0.13*0.05	
Opción 3	0.04*0.78	0.14*017	0.16*0.05	
Opción 4	0.29*0.78	0.35*017	0.35*0.05	
Opción 5	0.29*0.78	0.35*017	0.35*0.05	
Importancia relativa total	0.78	0.17	0.05	1

Tabla 2.12. Matriz de priorización final. (Camisón et al., 2006).

	Contribución total				
	Criterio 1	**Criterio 2**	**Criterio 3**	**Puntaje**	**Total**
Opción 1	0.27	0.00	0.00	0.27	27%
Opción 2	0.03	0.02	0.01	0.06	6%
Opción 3	0.03	0.02	0.01	0.06	6%
Opción 4	0.22	0.06	0.02	0.30	30%
Opción 5	0.22	0.06	0.02	0.30	30%
Importancia relativa total	0.78	0.17	0.05	1	100%

De la Tabla 2.12 se puede interpretar la prioridad de las opciones; es decir, la opción 4 y 5, opciones con el mayor porcentaje, serán las que se considerarán, en primera instancia, para la mejora o para cumplir con el objetivo definido.

2.3.4 Diagrama *Ishikawa*

Según Burgasí et al. (2021), el diagrama de *Ishikawa*, también conocido como ***diagrama de espina de pescado***, es una técnica utilizada para identificar las posibles causas de un problema central, se aplica en la mejora de procesos y a la optimización de recursos dentro de una organización. Este diagrama permite visualizar tanto los resultados insatisfactorios —denominados "efectos"— como los factores que los generan, conocidos como "causas". En este contexto, Bernal y Niño (2018), explican que el diagrama de *Ishikawa,* también puede ser llamado ***diagrama "causa-efecto***", ya que se compone de un efecto o característica que se busca controlar o mejorar, junto con un conjunto de causas o factores que lo originan. Cada una de estas causas se representa mediante una rama dentro del diagrama, la cual puede desglosarse en subcausas o factores más específicos, lo que permite un análisis detallado y estructurado del problema.

2.3.4.1 Factores 6 M´s para el diagrama de *Ishikawa*

Como afirma Rodrigues (2024), para formar el diagrama de *Ishikawa* se debe partir de los siguientes seis factores primordiales, también conocidos como las "6 M´s":

1. **Mano de obra.** Hace referencia a las habilidades, capacitaciones, motivaciones y eficiencias del personal que está involucrado en el proceso.
2. **Método.** Se refiere a los procedimientos mediante los cuales se lleva a cabo esa determinada actividad. Por lo general, los problemas se generan cuando no hay un proceso claro a seguir.
3. **Máquina.** Se refiere al equipo, maquinaria o herramienta utilizada para la ejecución de una actividad. Los problemas asociados a esta categoría suelen estar relacionados con fallas, desgastes o defectos en los equipos empleados, lo que puede afectar negativamente el desempeño del proceso.
4. **Materia prima**. Se refiere a los insumos empleados, que en algunos casos pueden ser de baja calidad o no suficiente para llevar a cabo una determinada producción.
5. **Medio Ambiente.** Hace referencia a las condiciones medioambientales como la temperatura, humedad e iluminación que pueden afectar la ejecución de la actividad.

6. **Medición.** Se refiere con la recolección de los datos y la medición de los resultados alcanzados. Los problemas que se generan en esta categoría tienen que ver con mediciones imprecisas o el uso de sistemas de análisis inadecuados al tipo de seguimiento que se quiere realizar.

2.3.4.2 Procedimiento para la implementación del diagrama de *Ishikawa*

Martínez et al. (2019), recomiendan seguir el siguiente procedimiento, propuesto por Ishikawa, para elaborar de manera efectiva el diagrama de Ishikawa:

1. **Definir claramente el problema.** Establecer de manera precisa el problema que se desea resolver. Éste debe ser claramente identificado y visualizado en el extremo derecho del diagrama, dentro de un recuadro, para asegurar que todos los esfuerzos se centren en abordarlo (Figura 2.7).
2. **Dibujar la espina dorsal del diagrama.** Crear una flecha principal que se origina desde el lado izquierdo del recuadro que contiene el problema, dirigiéndose hacia el problema mismo. Esta flecha representa la espina dorsal del diagrama y guía el flujo de la causa hacia el efecto (Figura 2.7).
3. **Identificar los factores principales que contribuyen al problema.** En este paso se deben identificar los factores que tienen un impacto directo sobre el problema. Estos factores se colocan en recuadros a lo largo de la espina dorsal, tanto en la parte superior como en la inferior, y se conectan a la espina dorsal mediante flechas, las cuales representan las "espinas primarias" del diagrama (Figura 2.7).

Figura 2.7. Diagrama Ishikawa.
(Martínez et al., 2019).

4. **Determinar las causas subyacentes de cada factor.** Para cada factor identificado en el paso anterior, se debe realizar un análisis detallado que permita identificar las causas que lo originan. Estas causas se colocan en recuadros a lo largo de las flechas que salen de cada factor hacia la espina dorsal. Las causas se conectan a estas flechas mediante líneas, de manera que se refleje cómo cada factor se ve afectado por las causas identificadas, permitiendo un desglose profundo del problema (Figura 2.7).
5. **Verificar la exhaustividad del análisis.** Una vez que se hayan identificado las causas, es importante asegurarse de que todos los factores relevantes se han considerado adecuadamente. Además, se debe validar que las causas seleccionadas realmente están relacionadas con el problema a estudiar, evitando omisiones importantes o causas irrelevantes.

2.3.4.3 Ventaja y desventajas del diagrama *Ishikawa*

Según Burgasí et al. (2021), el diagrama de *Ishikawa* no siempre confirma si las causas identificadas son responsables reales de los efectos observados. Sin embargo, cuando se aplica correctamente, esta herramienta puede funcionar como una guía valiosa para representar de manera estructurada y detallada problemas complejos. En la Tabla 2.13, se presentan las principales ventajas y desventajas de su aplicación.

2.4 Herramientas para el estudio de métodos y tiempos

En esta sección se presentan dos técnicas: estudio de métodos y estudio de tiempos; que ayudan a optimizar procesos productivos. A través de estos estudios, es posible detectar tareas críticas, redefinir procedimientos y establecer un enfoque estructurado para la mejora continua.

2.4.1 Estudio de métodos

Según Cruelles (2012), el estudio de métodos, de una tarea, es la investigación sistemática de las operaciones que la componen; este estudio divide y desglosa la tarea en una parte razonable de operaciones, de esta manera se entiende mejor cómo se ejecuta, lo cual ayuda a unificar un método operativo para todos los implicados en su ejecución.

Tabla 2.13. Ventajas y desventajas del diagrama Ishikawa. (Burgasí et al., 2021).

Diagrama *Ishikawa*	
Ventajas	**Desventajas**
• Permite analizar tendencias y como están distribuidos los datos para identificar inconvenientes y solucionarlos. • Es una herramienta sencilla de interpretar y analizar; permite observar las causas de un problema y sus efectos, incluso en contextos diversos como el familiar o educativo. • Facilita el manejo de grandes cantidades de información sobre un problema específico, aumentando la probabilidad de identificar causas principales.	• Pueden existir errores o falencias en la elaboración y comprensión de los diagramas. • Existe subjetividad en la evaluación del experto y ambigüedad en el lenguaje utilizado. • Puede generar aproximaciones divergentes, lo que lleva a un uso ineficiente del tiempo y recursos por especulación.

Según Rojas (2011), el estudio de métodos es la técnica principal para reducir la cantidad de trabajo, principalmente al eliminar movimientos innecesarios del material o de los operarios y substituir métodos malos por buenos.

Como lo expresa Rojas (2011), Gilbreth desarrolló un método para analizar el trabajo, facilitando así su estudio. El método se basa en cinco elementos esenciales: operación, inspección, traslado, demora y almacenamiento; para representar visualmente los elementos y estructurar los procesos de manera clara.

Gilbreth, además ideó una simbología específica, la cual se emplea en la elaboración de diagramas de flujo de procesos, los cuales permiten identificar oportunidades de mejora en cualquier flujo de trabajo.

2.4.1.1 Simbología utilizada para la elaboración del diagrama de flujo de proceso

En la Tabla 2.14 se muestran las actividades y los símbolos empleados en la elaboración de diagramas de flujo de proceso, asimismo, se da su significado y el resultado predominante (García, 2011).

2.4.1.2 Diagrama de flujo de proceso

El diagrama de flujo del proceso (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), es u na representación gráfica de todas las operaciones, inspecciones, traslados, demoras y almacenamientos que tienen lugar durante un proceso o procedimiento, incluyendo toda aquella información que se considere necesaria para su análisis como tiempo requerido y distancia recorrida.

Tabla 2.14. Simbología para elaboración de diagrama de flujo de proceso. (García, 2011).

Símbolo	Actividad	Significado	Resultado predominante
	Operación	Son las etapas principales del proceso. Se crea, se cambia o se añade algo. Las operaciones implican actividades tales como conformación, montaje y desmontaje.	Se produce o efectúa algo.
	Transporte	Es el movimiento del material, personal u objeto de estudio desde una posición o situación a otra.	Se cambia de lugar o se mueve.
	Inspección	Se produce cuando la cantidad y cantidad de los artículos son comprobadas, verificadas, revisadas o examinadas, sin que sufran ningún cambio.	Se verifica calidad o cantidad.
	Demora	Se produce cuando las condiciones no permiten o no requieren una ejecución inmediata de la próxima acción planificada. La demora puede ser evitable o inevitable.	Se interfiere o retrasa el paso siguiente.
	Almacenamiento	Se produce cuando algo permanece en un sitio sin ser trabajado o en proceso de elaboración, en espera de una acción en fecha posterior. El almacenamiento puede ser temporal o permanente.	Se guarda o protege.

Tabla 2.15. Diagrama de flujo de trabajo adaptado de. (Flores, 2024).

Diagrama de flujo de proceso

Resumen de actividades	Presente		Propuesto		Diferencia	
Tipo de actividad	No.	Tiempo	No.	Tiempo	No.	Tiempo
Operaciones						
Transportes						
Inspecciones						
Demoras						
Almacenamientos						
Distancia recorrida (m)						

Datos del proceso	
Empresa:	NOMBRE EMPRESA
Ubicación:	LUGAR
Operación:	CARGA Y DESCARGA
Hombre Material	
El diagrama inicia:	
El diagrama termina:	
Responsable:	
Fecha:	

LOGO DE LA EMPRESA

No.	DETALLES DEL MÉTODO (ACTUAL)	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Almacén	Distancia (m)	Cantidad	Tiempo (min)	ANÁLISIS ¿Porqué? ¿Qué?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Cómo?	NOTAS	ACCIÓN ELIMINAR	COMBINAR	Cambiar SECUENCIA	LUGAR	PERSONA	MEJORAR
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					

El diagrama de flujo de proceso puede ser elaborado para realizar dos tipos de estudios: diagrama de persona y de material (Rojas, 2011).

- Diagrama de persona. Es aquel mediante el cual se representan todas y cada una de las actividades que lleva a cabo un operador al realizar un determinado trabajo. El verbo debe de ir en presente: toma, lleva, taladra; haciendo referencia a la persona.
- Diagrama de material o de producto. Es aquel en el cual se representan todas y cada una de las actividades que se le hacen a un objeto durante un proceso. Aquí, según la acción a realizar, el verbo se conjuga en tiempo pasado: tomada, llevada, taladrada; haciendo referencia a la pieza.

2.4.2 Estudio de tiempos

Cruelles (2012), dice que el estudio de tiempos es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos de trabajo y actividades correspondientes a las operaciones de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas, con el fin de analizar los datos y calcular el tiempo requerido para efectuar la tarea, según un método de ejecución establecido.

Según Rojas (2011), para realizar un estudio y toma de tiempos se pueden utilizar las siguientes opciones:

- Método continuo.
- Método repetitivo.

2.4.2.1 Método continuo

Según Padilla (2012), el método continuo cuenta con un registro completo de todo el periodo de observación, siendo que una vez puesto en marcha el cronómetro, no se para hasta el final del estudio y la lectura del reloj se hace a la terminación de cada elemento.

Como menciona Rojas (2011), es necesario diseñar un formato (Tabla 2.16) para registrar las anotaciones de la toma de tiempos mediante el método continuo. Estas anotaciones incluyen:

- **Elementos.** Son las actividades u operaciones que el operador lleva a cabo como toma pieza, coloca pieza, etc.
- **Ciclos.** Es el número de tomas que se realizan durante un tiempo determinado por cada actividad.
- **Letra T.** Significa tiempo; ésta representa el valor continuo que el cronómetro da por cada actividad y este valor se va anotando en cada casilla al terminarse la misma.
- **Letra L.** Significa lectura; éste representa el tiempo real o verdadero de cada actividad y se obtiene de restas sucesivas: L1=T1, L2=T2-T1, L3=T3-T2….

Tabla 2.16. Formato para el llenado de tiempos por el método continuo. (Rojas, 2011).

Ciclos		Elementos				
		A	B	C	D	E
1	T					
	L					
2	T					
	L					
3	T					
	L					
4	T					
	L					

2.4.2.2 Método repetitivo

Como plantea Rojas (2011), el método repetitivo, también conocido como método de vuelta a cero, se considera como el sistema en el cual, al final de cada elemento, se vuelven las manecillas del cronómetro a cero. La lectura del cronómetro se hace al final de cada elemento en la forma siguiente:

1. Se observa y registra el tiempo transcurrido al finalizar cada elemento.
2. Se presiona el botón del cronómetro para restablecer las manecillas a cero.
3. Se inicia la medición del siguiente elemento desde cero.

El valor que se anota es el valor real de cada elemento. Para llevar a cabo las anotaciones de la toma de tiempos por el método repetitivo, de igual forma, se recomienda llenar un formato (Tabla 2.17) para la agrupación de los valores tomados, este formato incluye:

- **Elementos.** Son las actividades u operaciones que el operador lleva a cabo como toma pieza, coloca pieza, etc.
- **Ciclos.** Es el número de tomas que se realizan durante un tiempo determinado por cada actividad.

Tabla 2.17. Formato para el llenado de tiempos por el método repetitivo. (Rojas, 2011).

Elementos	Ciclos				
	1	2	3	4	5
A					
B					
C					
D					
E					

2.5 Cálculo del número de observaciones

Pico y Ramos (2024), mencionan que el cálculo del número de observaciones es un aspecto clave en la recolección de datos, ya que un muestreo insuficiente puede llevar a conclusiones erróneas, mientras que un exceso de mediciones implica un uso innecesario de recursos y tiempo.

Según Rojas (2011), cuando se va a realizar un estudio de tiempos de un proceso, actividad u operación, el analista se encuentra con el problema de que no sabe cuántas tomas de tiempo debe de llevar a cabo, por esta razón, ellos Pico y Ramos (2024), recomiendan que para el cálculo del número de observaciones se utilicen los siguientes elementos:

- **Número de observaciones del estudio preliminar.** Se realiza un muestreo inicial con un número de mediciones para estimar la variabilidad del proceso.
- **Suma de los valores.** Se calcula la suma de los tiempos registrados en el estudio preliminar para obtener una referencia sobre la magnitud de las mediciones.
- **Valor de las observaciones.** Se analizan individualmente los tiempos registrados en cada observación, lo que permite calcular la media y la desviación estándar del conjunto de datos.

A partir de estos elementos, se puede aplicar la Ecuación 1.1 para determinar el número óptimo de mediciones necesarias (Pico y Ramos, 2024):

$$n = \left(\frac{40\sqrt{n'\sum x^2 - \sum(x)^2}}{\sum x}\right)^2 \quad \text{..... (2.1)}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra a calcular (número de observaciones).

n´= Numero de observaciones del estudio preliminar.

Σ = Suma de valores.

x = Valor de las observaciones.

2.6 Prueba de hipótesis

En esta sección se abordan dos pruebas estadísticas de medias poblacionales: la prueba t para muestras independientes y la prueba t para muestras dependientes; las cuales permiten evaluar si las diferencias observadas entre condiciones antes y después de acciones implementadas son estadísticamente significativas, bajo un nivel de confianza establecido. Su aplicación resulta fundamental para sustentar con evidencia estadística la efectividad de las acciones implementadas en los procesos industriales analizados.

2.6.1 Prueba t para muestras independientes

Citando a Walpole et al. (2012) la prueba t para dos muestras independientes es una prueba inferencial utilizado para comparar las medias de dos poblaciones distintas cuando se extraen muestras que no están relacionadas entre sí.

Galindo (2020) menciona la formulación de dos hipótesis:

- $\boldsymbol{H_0: \mu_1 = \mu_2}$ **(hipótesis nula).** No existen diferencias significativas entre las medias de ambos grupos.
- $\boldsymbol{H_1: \mu_1 > \mu_2}$ **(hipótesis alternativa).** Existen diferencias significativas entre las medias de ambos grupos.

Según Walpole et al. (2012), cuando se desea comparar las medias de dos poblaciones independientes y se desconoce la varianza poblacional, pero se asume que ambas varianzas

son iguales, se recomienda utilizar la prueba t para muestras independientes. Esta prueba permite determinar si existen diferencias significativas entre dos grupos de datos.

Por lo tanto Walpole et al. (2012) y Mendenhall et al. (2006), recomiendan el siguiente procedimiento:

1. **Formular correctamente la hipótesis.** Establecer con claridad el propósito de la prueba, definiendo si se pretende demostrar una mejora, una diferencia significativa o una equivalencia entre dos procesos, por ejemplo:
   - $\boldsymbol{H_0: \mu_1 = \mu_2}$ **(hipótesis nula).** No existen diferencias significativas entre las medias de ambos grupos.
   - $\boldsymbol{H_1: \mu_1 > \mu_2}$ **(hipótesis alternativa).** Existen diferencias significativas entre las medias de ambos grupos.
2. **Calcular la media muestral de cada grupo.** El cálculo de las medias permite identificar la tendencia central de los datos en ambas condiciones evaluadas, esto debido a que la media representa el valor promedio del comportamiento en el proceso. La media se puede calcular con la Ecuación 2.2

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} xi \qquad (2.2)$$

Donde:

$\bar{x} = Media\ muestral.$

$xi = Observaciones\ induviduales.$

$n = Número\ total\ de\ observaciones.$

3. **Determinar la desviación estándar de cada muestra.** La variabilidad de los datos es fundamental para entender qué tan dispersos están respecto a su media, el cálculo se realiza aplicando la Ecuación 2.3.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{i=n}(xi - \bar{x})^2} \qquad (2.3)$$

Donde:

$S = Desviación\ estándar\ de\ la\ muestra.$

$xi = Cada\ valor\ observado.$

$\bar{x} = Media\ de\ la\ muestra.$

$n = Número\ de\ observaciones.$

4. **Calcular la desviación estándar combinada.** Estimar la desviación estándar combinada es apropiado cuando se asume igualdad de varianzas en las poblaciones, permitiendo obtener una medida conjunta de dispersión que mejore la precisión de la prueba, el cálculo se realiza aplicando la Ecuación 2.4.

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2+(n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}} \quad \text{..... (2.4)}$$

Donde:

$S_P = Desviación\ estándar\ conbinada.$

$S_1, S_2 = Desviación\ estándar\ de\ cada\ muestra.$

$n_1, n_2 = Tamaños\ muestrales.$

5. **Calcular el estadístico de prueba.** El valor del estadístico de prueba *t* representa la magnitud de la diferencia estandarizada entre medias, en función de la variabilidad combinada de las muestras. Su cálculo permite evaluar si dicha diferencia es estadísticamente significativa. El estadístico se calcula con la Ecuación 2.5.

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1-\bar{x}_2}{S_p\sqrt{\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}}} \quad \text{..... (2.5)}$$

Donde:

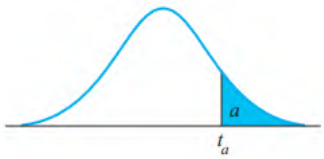
$\bar{x}_1, \bar{x}_2 = Medias\ de\ cada\ muestra.$

$S_p = Desviación\ estándar\ combinada.$

$n_1, n_1 = Tamaños\ muestrales.$

6. **Determinar del valor crítico.** El valor crítico se obtiene a partir de la tabla *t – Student* (Tabla 2.18), y permite establecer el límite a partir del cual se considerará que el resultado obtenido es estadísticamente significativo. Para determinar este valor se utiliza el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$) y los grados de libertad ($n_1 + n_2 - 2$).
7. **Definir criterio de decisión.** La comparación entre el valor del estadístico de prueba calculado y el valor crítico obtenido de la tabla *t - Student* permite determinar la

Tabla 2.18. Tabla t-Student.
(Mendenhall et al., 2006).



df	$t_{.100}$	$t_{.050}$	$t_{.025}$	$t_{.010}$	$t_{.005}$	df
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	1
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	2
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	3
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	4
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	6
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	7
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	8
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	9
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	10

validez de la hipótesis nula. Si el valor de *t* excede el valor crítico, se considera que existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula y aceptar la alternativa. Por el contrario, si t no supera el valor crítico, no se cuenta con evidencia estadísticamente significativa para rechazarla, por lo que ésta se mantiene. Esta decisión puede ilustrarse de la siguiente manera:

$$t_0 > t_{(1-\alpha,gl)}: \ \boldsymbol{Rechazar\ H_0}$$

$$t_0 \leq t_{(1-\alpha,gl)} \ : \boldsymbol{No\ Rechazar\ H_0}$$

2.6.2 Prueba t para muestras dependientes

Según Walpole et al. (2012), la prueba *t* para muestras dependientes es una prueba utilizada para comparar las medias de dos mediciones tomadas sobre las mismas unidades de análisis antes y después. Este tipo de prueba resulta apropiado cuando los datos están emparejados, es decir, cuando existe una relación directa entre las observaciones de ambos grupos.

Galindo (2020) menciona que la formulación de las hipótesis se expresa en función de las diferencias entre pares de observaciones:

- $\boldsymbol{H_0: \mu_d = 0}$ **(hipótesis nula).** No existen diferencias significativas entre ambas mediciones.
- $\boldsymbol{H_1: \mu_d > 0}$ **(hipótesis alternativa).** Existen diferencias significativas entre ambas mediciones.

Según Walpole et al. (2012), cuando se pretende evaluar si el cambio observado dentro de un mismo grupo de análisis es significativo, la prueba t para muestras dependientes permite determinar si la media de las diferencias entre observaciones emparejadas es estadísticamente distinta de cero.

Por lo tanto Walpole et al. (2012) y Mendenhall et al. (2006), recomiendan el siguiente procedimiento:

1. **Formular correctamente la hipótesis.** Establecer con claridad el propósito de la prueba, permite establecer un marco de referencia para determinar si una diferencia observada es significativa. Al trabajar con muestras dependientes, se analiza la diferencia entre cada par de valores antes y después
   - $\boldsymbol{H_0: \mu_d = 0}$ **(hipótesis nula).** No existen diferencias significativas entre las medias de ambos grupos.
   - $\boldsymbol{H_1: \mu_d > 0}$ **(hipótesis alternativa).** Existen diferencias significativas entre las medias de ambos grupos.
2. **Calcular las diferencias individuales**. Se resta para cada unidad analizada, el valor del antes al valor después, con el fin de obtener una sola muestra de diferencias, el cálculo se realiza aplicando la Ecuación 2.6.

$$d_i: x_{i,despues} - x_{i,antes} \quad \text{.....} \quad (2.6)$$

Donde:

$$d_i = Diferencia\ indivual\ observada$$
$$x_i = valor\ del\ area.$$

3. **Calcular la media de las diferencias.** Determinar el promedio de las diferencias permite conocer el cambio medido observando la implementación de la mejora. Este valor se obtiene utilizando la Ecuación 2.7.

$$\bar{d} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} di \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.7)$$

Donde:

$\bar{d} = Media\ muestral.$

$di = Diferencia\ observada.$

$n = Número\ de\ pares\ de\ datos.$

4. **Calcular la desviación estándar de las diferencias.** La desviación estándar permite conocer que tan consistente fue el efecto de la mejora. Esta medida se calcula aplicando la Ecuación 2.8.

$$S_d = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{i=n}(di - \bar{d})^2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.8)$$

Donde:

$S_d = Desviación\ estándar.$

$di = Diferencia\ observada.$

$\bar{d} = Media\ de\ las\ diferencias.$

$n = Número\ de\ observaciones.$

5. **Calcular el error estándar de la media de las diferencias.** Estimar el error estándar permite cuantificar la precisión con la que la media muestral representa una media poblacional diferente. Este valor se calcula mediante la Ecuación 2.9.

$$SE = \frac{S_d}{\sqrt{n}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.9)$$

Donde:

$SE = Error\ estándar.$

$S_d = Desviación\ estandar\ de\ las\ diferencias.$

$n = Número\ de\ observaciones.$

6. **Calcular el estadístico de prueba.** El valor del estadístico t representa cuántas veces el valor promedio observado se aleja del valor esperado, considerando la variabilidad de los datos. El estadístico se calcula con la Ecuación 2.10.

$$t_0 = \frac{\bar{x}}{SE} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.10)$$

Donde:

$t_0 = Valor\ estadistico\ de\ prueba.$

$\bar{x} = Media\ de\ las\ diferencias.$

$SE = Error\ estándar.$

8. **Determinar del valor crítico.** El valor crítico se obtiene a partir de la tabla *t-Student* (suficiente para rechazarla, por lo que se mantiene la hipótesis nula, indicando que no hubo un cambio significativo. Esta decisión puede ilustrarse de la siguiente manera:

$$t_0 > t_{(1-\alpha,gl)} \ : \ \boldsymbol{Rechazar\ H_0}$$

$$t_0 \leq t_{(1-\alpha,gl)} \quad : \boldsymbol{No\ Rechazar\ H_0}$$

9.), y permite establecer el límite a partir del cual se considerará que el resultado obtenido es estadísticamente significativo. Para determinar este valor se utiliza el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$) y los grados de libertad, calculados con la Ecuación 2.11.

$$t_{\alpha,gl} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.11)$$

Donde:

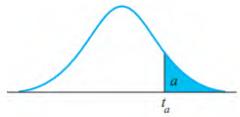
$t_{\alpha,gl} = Valor\ critico\ t.$

$\alpha = Nivel\ de\ significancia.$

$gl = grados\ de\ libertad = n - 1$

10. **Definir criterio de decisión.** La comparación entre el valor del estadístico de prueba calculado y el valor crítico obtenido de la tabla *t-Student* permite determinar la validez de la hipótesis nula. Si el valor de t excede el valor crítico, se considera que existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula y aceptar la alternativa,

Tabla 2.19. Tabla t-Student.
(Mendenhall et al., 2006).



df	$t_{.100}$	$t_{.050}$	$t_{.025}$	$t_{.010}$	$t_{.005}$	df
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	1
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	2
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	3
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	4
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	6
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	7
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	8
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	9
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	10

por el contrario, si el valor de *t* no supera el valor crítico, no se cuenta con evidencia suficiente para rechazarla, por lo que se mantiene la hipótesis nula, indicando que no hubo un cambio significativo. Esta decisión puede ilustrarse de la siguiente manera:

$$t_0 > t_{(1-\alpha,gl)} \ : \ \boldsymbol{Rechazar\ H_0}$$

$$t_0 \leq t_{(1-\alpha,gl)} \ : \boldsymbol{No\ Rechazar\ H_0}$$

2.7 Técnicas de Lean Manufacturing

En esta sección se presentan dos técnicas de *Lean Manufacturing*: las 5S y SMED; las cuales contribuyen a la optimización de los procesos productivos. Estas técnicas permiten eliminar actividades innecesarias, estandarizar procedimientos y establecer un enfoque estructurado para la mejora continua, aumentando la eficiencia y reduciendo desperdicios.

2.7.1 Las 5S

Según Silvestre (2022), las 5S son consideradas como una metodología de trabajo con la que se puede desarrollar un plan para mantener continuamente tres aspectos: la clasificación, el orden y la limpieza. De lo que se trata es de mejorar el entorno del trabajador proveyendo mejoras en cuanto a la seguridad, clima laboral y motivación.

Silvestre (2022) menciona que las 5S fueron elaboradas por *Hiroyoki Hirano* y recibe su nombre de las iniciales de cinco términos japoneses:

- *Seiri* (Clasificar).
- *Seiton* (Ordenar).
- *Seiso* (Limpiar).
- *Seiketsu* (Estandarizar).
- *Shitsuke* (Disciplinar).

De acuerdo con Arellano (2017), la implementación de la metodología de las 5S se desarrolla en las etapas presentadas en la Tabla 2.20.

Tabla 2.20. Etapas de las 5S.
(Arellano, 2017).

Etapas	"S"	Japones	Español
1ra	1	*Seiri*	Clasificar
	2	*Seiton*	Ordenar
	3	*Seiso*	Limpiar
2da	4	*Seiketsu*	Estandarizar
3ra	5	*Shitsuke*	Disciplina

2.7.1.1 *Seiri* (Clasificar)

Según Hernández et al. (2015), *seiri* se refiere a seleccionar y clasificar los elementos del lugar de trabajo en dos categorías principales: esenciales y no esenciales; con el objetivo de eliminar aquellos elementos no utilizados o rara vez usados que se acumulan y generan desorden, para ello se propone clasificar herramientas y materiales en categorías específicas, según su relevancia o frecuencia de uso, ya que eliminar lo innecesario hace que el espacio de trabajo sea más amplio.

Pérez (2017), propone un procedimiento (Figura 2.8) para clasificar elementos (herramientas y materiales), de modo que, una vez definidos, se facilite la toma de decisiones sobre cada elemento según su requerimiento, optimizando así los recursos y reduciendo el tiempo necesario para detectar fallas.

UAN (2010), destaca los siguientes beneficios de *seiri*:

- Liberar espacio útil en edificios y oficinas.

- Reducir los tiempos de acceso al material, documentos, herramientas y otros elementos de trabajo.
- Mejorar el control visual de *stocks* de repuestos y elementos de producción, carpetas con información, *hardware*, etc.
- Facilitar el control visual de los materiales que se van agotando para prevenir su desabasto.
- Preparar las áreas de trabajo para el desarrollo de acciones de mantenimiento preventivo, ya que se puede apreciar con facilidad los deterioros, fallas y contaminaciones existentes en los equipos.

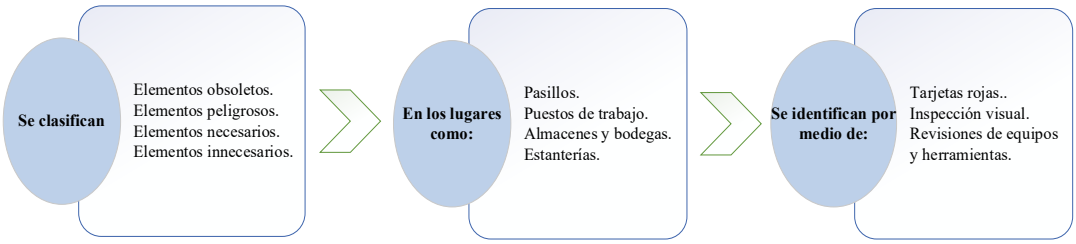


Figura 2.8. Procedimiento de identificación de elementos. (Pérez, 2017).

2.7.1.2 *Seiton* (Ordenar)

Según Hernández et al. (2015), *seiton* implica asignar un lugar para cada elemento, previamente clasificado como "esencial," para que sea fácilmente accesible. Para mantener el orden en el área de trabajo, los elementos esenciales se etiquetan, organizan y colocan de acuerdo con su frecuencia de uso, permitiendo a los operarios localizarlos rápidamente, utilizarlos y devolverlos a su lugar adecuado.

UAN (2010), destaca los siguientes beneficios de *seiton*:

- Facilita el acceso rápido a elementos que se requieren para el trabajo
- Mejora la información en el sitio de trabajo para evitar errores y acciones de riesgo potencial.
- Facilita el aseo y limpieza, e incrementa la seguridad.
- Mejora la presentación y estética de las instalaciones, comunicando orden, responsabilidad y compromiso con el trabajo.
- Crea un ambiente de trabajo más agradable con espacios óptimos.

Pérez (2017), define los criterios de ubicación y de ordenamiento de los elementos del trabajo (Figura 2.9) para facilitar la aplicación de *seiton*.

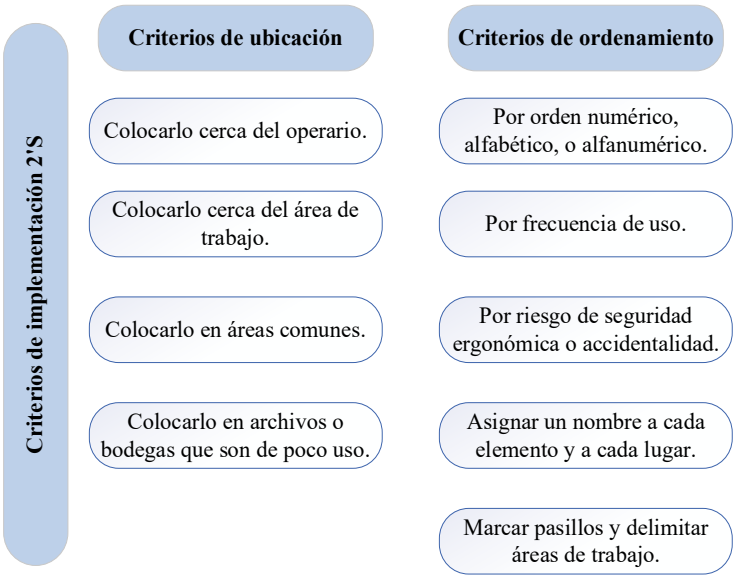


Figura 2.9. Criterios de implementación.
(Pérez, 2017).

2.7.1.3 *Seiso* (Limpiar)

Manzano y Gisbert (2016), indican que es necesario realizar una limpieza en el área de implantación, de este modo se pretende identificar los defectos y eliminarlos. Así mismo, *seiso* incluye la integración de la limpieza diaria como parte de inspección del puesto de trabajo ante posibles defectos y da importancia más al origen de la suciedad y defectos encontrados que a sus posibles consecuencias.

Hernández et al. (2015), recomiendan diseñar e implementar métodos efectivos que se integren en las tareas diarias de mantenimiento de los operarios. Sin embargo, es importante aclarar que esta etapa también busca mecanismos para prevenir que el puesto de trabajo se ensucie y desordene.

Pérez (2017), establece un ciclo de trabajo para el desarrollo de esta tercera “S” mostrado en la Figura 2.10, la cual pretende que todo el personal se haga responsable de las cosas que usa,

y asegurarse de que todo se encuentre en buenas condiciones para lograr un ambiente laboral agradable.

UAN (2010), destaca los siguientes beneficios de *Seiso*:

Figura 2.10. Ciclo de implementación de Seiso. (Pérez, 2017).

- Reduce el riesgo potencial de que se produzcan accidentes.
- Mejora el bienestar físico y mental del trabajador.
- Incrementa la vida útil del equipo al evitar su deterioro por contaminación y suciedad.
- Aumento significativo de la Efectividad Global de Equipos (OEE de las siglas en inglés de *Overall Equipment Effectiveness*).
- Mejora la calidad de productos y servicios.

2.7.1.4 *Seiketsu* (Estandarizar)

Según Hernández et al. (2015), *seiketsu* permite distinguir fácilmente una situación normal de una anormal mediante la aplicación de reglas simples y visibles para todos los operarios. Para lograrlo, cada miembro de la organización debe practicar de manera continua las tres primeras "S". Esto requiere diseñar controles visuales obvios y fáciles de entender (señalización) que ayuden a los operarios a diferenciar entre comportamientos correctos e incorrectos.

Pérez (2017), menciona que *seiketsu* tiene como objetivo procurar el bienestar personal de los trabajadores y conservar lo que se ha logrado en las tres primeras "S". Para lograrlo Manzano y Gisbert (2016), recomiendan desarrollar los estándares necesarios para su organización, desde realizar formularios acerca del orden y limpieza, hasta de la delimitación de los espacios productivos o realizar fotografías de cómo deben quedar al final de la jornada los puestos de trabajo. Los formularios deben ser llenados por el personal de la empresa.

UAN (2010), destaca los siguientes beneficios de *seiketsu*:

- Se conserva el conocimiento producido durante años de trabajo.
- Se mejora el bienestar del personal al crear un hábito de conservar impecable el sitio de trabajo en forma permanente.
- La dirección se compromete más en el mantenimiento de las áreas de trabajo al intervenir en la aprobación y promoción de los estándares.
- Mejoran los tiempos de cambio y se incrementa la productividad.

2.7.1.5 *Shitsuke* (Diciplina)

Según Hernández et al. (2015), *shitsuke* consiste en hacer que cada una de las cinco "S" se convierta en un hábito, trabajando de manera permanente conforme a las reglas, acuerdos y compromisos establecidos para implementar la metodología. Para garantizar el éxito de la metodología, se requiere el compromiso de la dirección para fomentar los comportamientos que cada "S".

La disciplina se logrará si la organización es consistente y asume con compromiso los hábitos establecidos, teniendo claro lo que son causas de disciplina e indisciplina, orden y limpieza, como lo establece la Figura 2.11 (Pérez, 2017).

UAN (2010), destaca los siguientes beneficios de *shitsuke*:

- Se crea una cultura de sensibilidad, respeto y cuidado de los recursos de la Institución.
- Se siguen los estándares establecidos y existe una mayor sensibilización y respeto entre el personal.

- Mayor satisfacción de clientes y usuarios al elevarse los niveles de calidad y respeto por las normas.
- El sitio de trabajo será un lugar donde realmente sea atractivo llegar cada día.

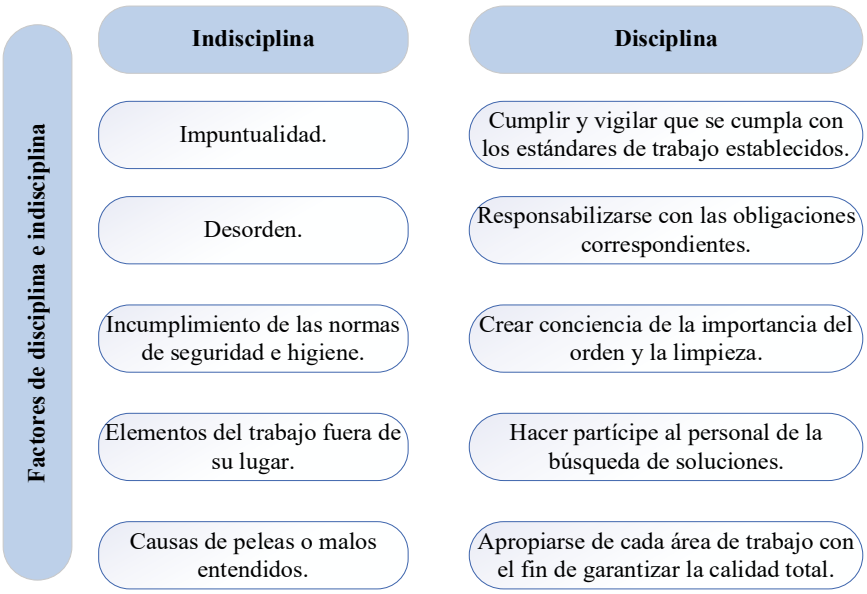


Figura 2.11. Factores de disciplina e indisciplina.
(Pérez, 2017).

2.7.2 SMED

Gil et al. (2012), definen a SMED *(Single-Minute Exchange of Die)*, como cambio de herramienta en un solo dígito de minuto. SMED es una técnica de mejora que permite reducir los tiempos de cambio de útiles de forma considerable, lo que se traduce en un aumento de flexibilidad, productividad y eficiencia.

La implantación de esta técnica requiere un periodo de formación para aprender a distinguir entre los diferentes tipos de operaciones; esta formación debe cumplir tres requisitos básicos para que las empresas la valoren de forma positiva (Gil et al., 2012):

- Debe ser económica.
- Debe poder probarse e incluso implementarse en un corto periodo de tiempo que no condicione la respuesta al cliente.
- Debe aplicarse en la resolución de los problemas reales que surgen en las propias instalaciones.

2.7.2.1 Objetivos de SMED

Según Restrepo et al. (2009), los objetivos de la técnica SMED son los siguientes:

- **Reducción los tiempos de *setup***. Al disminuir el tiempo requerido para ajustar y preparar máquinas, permitirá una respuesta más ágil a la demanda del mercado.
- **Transformación del tiempo de preparación en tiempo productivo**. Al minimizar actividades innecesarias en el cambio de referencia aumentará la producción efectiva.
- **Disminución del tamaño de inventario.** Reducir el almacenamiento de materias primas y productos terminados, optimizando costos y flujo de trabajo.
- **Reducción del tamaño de los lotes de producción.** El favorecer la fabricación de cantidades más pequeñas, mejorará la flexibilidad ante variaciones en la demanda.
- **Producción de múltiples modelos o productos en menos tiempo.** Hacer posible la fabricación de diferentes referencias en una misma máquina o línea, sin afectar la eficiencia.

2.7.2.2 Etapas de aplicación de la técnica SMED

Para llegar a los beneficios de la técnica SMED se deben ejecutar las siguientes etapas (Restrepo et al., 2009):

1. **Etapa preliminar.** Esta primera etapa resulta más útil de lo que se podría pensar, ya que el tiempo invertido en su estudio permite prevenir modificaciones posteriores en el método, las cuales podrían surgir por una descripción inexacta de la dinámica inicial del cambio. Para evitar esto, se lleva a cabo un análisis detallado del proceso de cambio mediante las siguientes actividades clave:
    - **Registro de los tiempos de cambio.** El registro de los tiempos de cambio es fundamental, ya que permite identificar los procesos que son más lentos de lo esperado. Al proporcionar información sobre el rendimiento actual, facilita el establecimiento de referencias para mejorar. Para lograrlo, se deben llevar a cabo las siguientes actividades:
        - Determinar la media y la variabilidad del tiempo de cambio.
        - Identificar las causas de la variabilidad y analizarlas.

- **Estudio de las condiciones actuales del cambio.** El estudio de las condiciones actuales del cambio es esencial para comprender mejor los procesos en los que se lleva a cabo. A través de este estudio, se pueden identificar oportunidades de mejora y optimizar la eficiencia. Para realizar este estudio, se deben llevar a cabo las siguientes actividades:
    - Realizar un análisis con cronómetro.
    - Entrevistar a operarios y preparadores para conocer su experiencia y percepciones.
    - Grabar en vídeo el proceso para su posterior análisis.
    - Mostrar las grabaciones a los trabajadores para discutir mejoras.
    - Tomar fotografías que permitan documentar detalles específicos.

2. **Separar las actividades internas y externas.** En esta etapa, el objetivo es distinguir entre las actividades internas y externas del proceso de cambio. Identificar y clasificar correctamente estas actividades permite reducir tiempos improductivos y optimizar la secuencia de trabajo. Para ello, es fundamental comprender sus definiciones:
    - **Actividades internas.** Son todas las actividades de cambio de producción que se hacen cuando las máquinas están paradas.
    - **Actividades externas.** Son todas las actividades de preparación que hacen antes del cambio de producción. Estas actividades se realizan con las máquinas en movimiento.

    Para esta etapa, se recomienda elaborar una lista detallada que incluya todas las partes y pasos necesarios para la operación. Esta lista debe contemplar nombres, especificaciones, herramientas, parámetros de la máquina, entre otros aspectos clave. A partir de ella, se realiza una verificación que permita asegurar que no existan errores en las condiciones de operación, evitando así pruebas innecesarias que generen pérdidas de tiempo.
3. **Convertir tareas internas en externas.** En esta etapa, el objetivo es transformar las operaciones internas en operaciones externas, permitiendo que muchas tareas que antes se realizaban con la máquina detenida puedan ejecutarse mientras sigue en funcionamiento. Esta conversión es clave para lograr un cambio rápido de útiles y

reducir los tiempos improductivos. Para ello, el equipo de trabajo deberá realizar las siguientes actividades (Gil et al., 2012):

- **Identificar las operaciones internas y externas en la situación actual**. Se analizan todas las actividades realizadas durante el cambio para determinar cuáles requieren que la máquina esté parada (internas) y cuáles pueden ejecutarse mientras la máquina sigue en marcha (externas).
- **Fomentar el análisis y la generación de mejoras.** Este ejercicio permite que el equipo reflexione sobre las actividades actuales y visualice oportunidades para optimizar el proceso, anticipándose a posibles soluciones.

4. **Perfeccionar las tareas internas y externas.** El objetivo de esta etapa es optimizar cada aspecto de la operación de preparación, considerando tanto las tareas internas como las externas. Para ello, se analizan y perfeccionan todas las operaciones elementales involucradas en el proceso. Algunas de las acciones más utilizadas para mejorar las operaciones internas incluyen:
   - **Implementación de operaciones en paralelo.** Asignar más de un operario a determinadas tareas puede acelerar significativamente el proceso de cambio. Por ejemplo: una operación que originalmente tomaba 12 minutos no necesariamente se reducirá a 6 con dos personas, sino posiblemente a 4, gracias a la optimización de movimientos.
   - **Utilización de anclajes funcionales.** Estos dispositivos de sujeción permiten fijar objetos en su posición con un esfuerzo mínimo, facilitando el trabajo y reduciendo tiempos improductivos en la preparación de equipos y herramientas.

2.7.2.3 Razones para implementar SMED

González et al. (2017), mencionan las siguientes razones para implementar SMED:

- **Adaptabilidad a la demanda.** La herramienta SMED es útil cuando el mercado exige una mayor variedad de productos.
- **Reducción de tiempos de cambio.** Permite disminuir el tiempo necesario para pasar de un producto a otro.

- **Optimización de costos.** Al reducir los tiempos de cambio, se minimizan los costos de producción.
- **Mayor eficiencia de la maquinaria.** Se incrementa el tiempo productivo, mejorando el rendimiento de los equipos.
- **Aumento de la productividad.** La reducción de tiempos muertos permite fabricar más en menos tiempo.
- **Disminución del tamaño de inventario y lotes de producción.** Facilita la producción en cantidades más pequeñas y con menor acumulación de *stock*.

2.7.2.4 Ventajas y desventajas de SMED

Según González et al. (2017), la técnica SMED permite mejorar diversas variables a lo largo del tiempo. No obstante, su implementación también puede presentar ciertos desafíos. En la

Tabla 2.21 se muestran ventajas y desventajas de su aplicación.

Tabla 2.21. Ventajas y desventajas de la técnica SMED. (González et al., 2017).

SMED (*Single Minute Exchange of Die*)	
Ventajas	Desventajas
• Reducción de defectos. • Menos retrasos en las entregas. • Reducción en costos de almacenaje. • Aumento en la productividad. • Mayor satisfacción del cliente. • Mayor flexibilidad al mercado.	• Terminación de la preparación incierta. • Falta de estandarización del procedimiento. • El procedimiento no es observado debidamente. • Las actividades de acoplamiento y separación toman demasiado tiempo. • Alto número de operaciones de ajuste.

2.8 Conclusión

Este capítulo proporcionó las bases esenciales para el desarrollo del presente proyecto, al presentar conceptos fundamentales que abarcan desde la etapa inicial de mapeo de procesos hasta la aplicación de técnicas de *Lean Manufacturing* y la validación estadística de las mejoras. La exposición de los conceptos ha permitido adquirir el conocimiento necesario para la investigación y el análisis, lo que favorecerá a una toma de decisiones informada y eficiente.

Capítulo 3
Aplicación

En este capítulo se describe la metodología diseñada para mejorar procesos clave de la empresa en estudio, con el objetivo de mejorar dos indicadores: tiempo de cambio y espacio disponible; identificados en la línea de producción de machetes. La metodología abarca la identificación de oportunidades de mejora, el diseño de soluciones específicas, la implementación de acciones correctivas y el control de resultados, para asegurar un impacto positivo y sostenible para la empresa.

3.1 Metodología

Para reducir ineficiencias operativas en la línea de producción de machetes de la empresa en estudio utilizando técnicas de *Lean Manufacturing*, se aplicará la siguiente metodología:

1. Diagnosticar la situación actual del área de producción.
2. Seleccionar área piloto: línea de producción para el desarrollo del proyecto.
3. Recolectar datos en el área piloto: línea de producción de machetes.
4. Elaborar VSM de la situación actual del área piloto.
5. Seleccionar área de oportunidad: proceso de la línea de machetes.
6. Determinar indicadores que afectan la productividad.
7. Evaluar indicadores.
8. Identificar causas raíz de los indicadores.
9. Seleccionar técnicas de *Lean Manufacturing* para mejorar indicadores.
10. Aplicar las 5S en la organización del área de trabajo.
11. Proponer la implementación de SMED para reducción de tiempos de cambio de banda para lijadoras.
12. Implementar SMED para reducción de tiempos de cambio de troquel de prensas.
13. Medir indicadores después de la mejora.
14. Validar estadísticamente las mejoras.

15. Controlar los resultados obtenidos.

3.2 Diagnosticar la situación actual del área de producción

En esta sección se describen las siguientes actividades, las cuales fueron realizadas para conocer la situación actual del área de producción de herramientas de mano, involucrada en el desarrollo del presente proyecto, dentro de la empresa objeto de estudio:

- Realizar entrevistas con gerente de manufactura y jefe de ingeniería.
- Realizar recorridos al área de producción de la empresa.
- Realizar entrevistas a los supervisores.
- Realizar entrevistas al personal operativo.
- Agrupar inquietudes por cada línea de producción.

3.2.1 Realizar entrevistas con gerente de manufactura y jefe de ingeniería

Como parte del proceso para conocer el área de producción, de herramientas de mano, se llevaron a cabo entrevistas con el jefe de ingeniería y el gerente de manufactura de la empresa.

Durante la entrevista con el jefe de ingeniería se mencionaron los principales productos fabricados: palas, cucharas, limas y machetes. También se destacó la incorporación de una línea de producción de machetes en el 2022, la cual, al ser relativamente nueva, presenta diversas deficiencias. El objetivo principal, expresado por el jefe de ingeniería, fue mejorar esta línea de producción mediante la eliminación de estas deficiencias y la optimización del proceso productivo. Entre las deficiencias identificadas se incluyen:

- Desorden en el área de trabajo.
- Presencia de derrames de líquidos resbalosos.
- Tiempos prolongados para los cambios de referencia.
- Largos periodos para los ajustes de las máquinas.

Posteriormente, en la entrevista con el gerente de manufactura, se discutieron problemas generales de la empresa, como el desorden en las áreas de trabajo, cambios de referencia prolongados, productos defectuosos, entre otros. El gerente de manufactura expresó, como objetivo principal mejorar la eficiencia de la planta y reducir los tiempos de inactividad, enfocándose en la optimización de los procesos y la mejora en la calidad de los productos. Esta conversación permitió reconfirmar las deficiencias identificadas en la línea de producción de machetes y resaltó la necesidad de implementar técnicas de *Lean Manufacturing* para mejorarla.

En general, las entrevistas fueron satisfactorias, ya que permitieron identificar los objetivos esperados por el jefe de ingeniería y el gerente de manufactura: mejorar la línea de producción de machetes mediante la eliminación de deficiencias y una mejor organización del área, aprovechando técnicas de *Lean Manufacturing*.

3.2.2 Realizar recorridos al área de producción de la empresa

Con base en los objetivos expresados por el gerente de planta y jefe de ingeniería -obtenidos en las entrevistas previas- se consideró realizar recorrido por las instalaciones de producción.

En compañía de un empleado, del departamento de ingeniería, se realizó un recorrido por las instalaciones de producción. Este empleado proporcionó una explicación general del funcionamiento de todas las líneas (limas, palas, cucharas y machetes), abarcando el proceso desde su inicio hasta su finalización. Por medio del recorrido se realizó un análisis visual general que permitió identificar diversas áreas de oportunidad, las cuales se resumen en la Tabla 3.1. Este análisis fue importante para entender las ineficiencias presentes en el flujo de trabajo, proporcionando una base para la propuesta de mejora.

3.2.3 Realizar entrevistas a los supervisores

Para obtener un conocimiento detallado de las líneas en los procesos productivos de la empresa en estudio, se decidió llevar a cabo entrevistas a los 5 supervisores de producción en sus respectivos turnos: 2 en la línea de machetes, asignados al primer y segundo turno y 3 supervisores de las líneas de limas, palas y cucharas, los cuales trabajan en turno mixto.

Tabla 3.1. Áreas de oportunidad en cada línea de producción (fuente: elaboración propia).

Línea de producción	Oportunidades detectadas
Limas	1. Falta de mantenimiento de equipos. 2. Falta de planeación. 3. Paradas en línea de producción. 4. Equipo fuera de su lugar.
Cucharas	1. Defectos en producto final. 2. Mantenimiento inadecuado de equipos. 3. Exceso de inventario entre proceso.
Palas	1. Equipo fuera de su lugar. 2. Fallas en control de calidad. 3. Generación de *scrap.*
Machetes	1. Equipo fuera de su lugar. 2. Aceites derramados que son un riesgo de resbalones en zonas de maquinaria. 3. Generación de *scrap* 4. Tiempos prolongados de cambio de referencia y ajustes. 5. Equipos personales mal ubicados.

Estas entrevistas tuvieron como objetivo identificar problemas recurrentes, procesos con tiempos elevados de ejecución y las principales quejas de los trabajadores, con el fin de detectar áreas de oportunidad.

Para garantizar una interacción fluida y eficiente, se elaboraron las siguientes tres preguntas para obtener una dinámica concreta, evitando interferir con sus actividades laborales y asegurando que el tiempo dedicado fuera el estrictamente necesario:

- ¿Cuáles son los problemas más comunes en la línea que usted supervisa?
- ¿Qué procesos en la línea presentan mayor tiempo de ejecución?
- ¿Qué quejas reciben con mayor frecuencia por parte de los trabajadores?

Durante las entrevistas, se registraron anotaciones que facilitaron el análisis desde la perspectiva de los supervisores de cada área. Las observaciones se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Áreas de oportunidad en línea de limas, cucharas y palas por supervisores. (fuente: elaboración propia).

Línea de producción	Oportunidades detectadas
Limas	1. Revisión periódicamente de molde de limas. 2. Reducir la oxidación del acero. 3. Implementar sensores para tina de área de rectificado. 4. Optimización del uso de materia prima. 5. Mejorar el manejo de residuos.
Cucharas	1. Revisión constante de moldes para prevenir deformaciones. 2. Mejorar los sistemas de ensamblaje. 3. Evitar deterioros de los materiales del mango. 4. Mejorar el control de inventario.
Palas	1. Fallas de maquinaria debido a la falta de mantenimiento adecuado. 2. Falta de herramientas adecuadas para cada estación de trabajo. 3. Derrames de aceite que representan un riesgo de accidentes. 4. Equipos de otras líneas de producción en el área de estudio.
Machetes	1. Excesivo tiempo en el cambio de *JIT* de prensas. 2. Generación de *scrap* por desajustes en la maquinaria. 3. Demasiado tiempo para la colocación de una bobina nueva en la cortadora láser. 4. Exceso de inventario en los pasillos. 5. Equipos personales ubicados o almacenados sobre las máquinas. 6. Tiempos prolongados por ajustes en la maquinaria. 7. Falta de herramientas adecuadas para cada estación de trabajo. 8. Defectos en los sensores de temperatura del horno.

3.2.4 Realizar entrevistas al personal operativo

Para concluir el análisis de las líneas de producción, de la empresa en estudio, se decidió realizar entrevistas al personal operativo de las diferentes áreas de producción. Estas entrevistas fueron llevadas a cabo directamente en las estaciones de trabajo y tuvieron como propósito identificar oportunidades en las líneas de producción.

Con el fin de garantizar una iteración dinámica y eficiente en cada entrevista, se diseñaron preguntas concretas que facilitaran la recopilación de información sin interrumpir las actividades de los operarios. Las preguntas que se plantearon fueron las siguientes:

- ¿Qué tareas lleva a cabo en su área de trabajo?
- ¿Qué problemas suelen presentarse con mayor frecuencia en su puesto?
- ¿Qué actividades requieren más tiempo en el desempeño de su trabajo?

Durante estas entrevistas se registraron, de manera detallada, las observaciones señaladas por el personal operativo de sus respectivas áreas de trabajo. Esta información sirvió para identificar áreas de oportunidad y establecer líneas de acción a la mejora continua. Los resultados de estas entrevistas han sido resumidos en la Tabla 3.3 y Tabla 3.4 para su análisis.

Tabla 3.3. Áreas de oportunidad en línea de limas y palas, expresadas por su personal operativo.
(fuente: elaboración propia).

Línea de producción	**Oportunidades detectadas**
Limas	1. Falta de herramientas. 2. Falta de refacciones es para las máquinas. 3. Variación de medidas en material. 4. Oxido en el material. 5. Tiempo excesivo de ajuste en máquinas. 6. Cambio de referencias. 7. Las bombas de extracción de agua no funcionan en ocasiones. 8. Falta de mantenimiento a las máquinas. 9. Traslado de material a producir.
Cucharas	1. Los extractores de aire no sirven. 2. Bandas de lijado de mala calidad. 3. Cambio de bandas. 4. Exceso de inventario. 5. Mala organización. 6. Mala iluminación en zonas. 7. Traslado de material a producir.

Tabla 3.4. Áreas de oportunidad en línea de palas y machetes, expresadas por su personal operativo.
(fuente: elaboración propia).

Palas	1. Ajuste en máquina remachadora. 2. Ensamble en el material por terminar. 3. Tiempo excesivo para empacar el material terminado. 4. Baja productividad. 5. Falta de herramienta para algún ajuste de las máquinas. 6. Traslado de material a producir. **7.** Máquinas paradas que pueden apoyar el proceso.
Machetes	1. Falta de cajones para colocar el machete. 2. Mal posicionamiento del remache. 3. El material se encuentra en mal estado (oxidado, golpeado, mal cortado). 4. Mala iluminación en zonas. 5. No hay extractor de polvo. 6. Sujeción de machetes doblados. 7. Falta de refacciones. 8. Exceso de inventario. 9. No hay una buena organización. 10. Tiempo excesivo en retirar la chatarra del material cortado. 11. Tiempo excesivo en cambio de banda transportadora. 12. Tiempo excesivo en Cambio de caucho en cabezales. 13. Poco mantenimiento a las máquinas. 14. Mal estado en el control de grúa. 15. Traslado de material a producir.

3.2.5 Agrupar inquietudes por cada línea de producción

Considerando las inquietudes recopiladas previamente en entrevistas con el jefe de ingeniería, gerente de manufactura, supervisores y personal operativo. se procedió a agruparlas por cada línea de producción, con el objetivo de identificar una línea piloto en la que se podrían implementar estrategias de mejoras. El resultado se muestra en la Tabla 3.5.

3.3 Seleccionar área piloto: línea de producción para el desarrollo del proyecto

A partir de la información presentada en la

Tabla 3.5, que engloban las inquietudes identificadas en función de los objetivos esperados del jefe de ingeniería y del gerente de manufactura, así como desde la perspectiva de supervisores y el punto de vista de los operarios, se procedió a la selección de una línea de producción, para llevar a cabo su estudio y mejora correspondiente, mediante el desarrollo de los siguientes pasos:

- Identificar factores mediante la técnica de lluvia de ideas.
- Definir línea de producción con el método por puntos.

Tabla 3.5. Agrupación de inquietudes para cada línea de producción de la planta en estudio. (fuente: elaboración propia).

Inquietudes por cada línea de producción				
Entrevistado	Limas	Palas	Cucharas	Machetes
Gerente de manufactura	Falta de planeación. Paradas en la línea de producción.	Falta de mantenimiento de equipos.	Exceso de inventario entre procesos. Defectos en el producto final.	Tiempos prolongados en el cambio de referencia y ajuste. Generación excesiva de scrap.
Jefe de ingeniería	Implementar sensores para la tina de rectificado. Optimización del uso de materia prima.	Sensores defectuosos. Derrames de aceite que presentan un riesgo.	Mejorar los sistemas de ensamblaje	Baja calidad en sensores de temperatura del horno. Falta de refacciones. Desperdicio elevado por ajustes de maquinaria.
Supervisores	Alta rotación de piezas defectuosas. Oxidación en los materiales.	Tiempo excesivo para empacar el material terminado Maquinarias paradas que podrían apoyar el proceso.	Revisión constante de moldes para prevenir deformaciones. Mala iluminación en zonas.	Exceso de inventario en pasillos. Equipos personales ubicados en zonas inapropiadas
Personal operativo	Falta de mantenimiento a las bombas de extracción de agua. Tiempo excesivo en ajustes y cambios de referencia.	Mala organización. Traslado ineficiente de material a producir. Ajustes prolongados en máquinas.	Mala calidad en bandas de lijado. Generación excesiva de scrap.	Mala iluminación. Tiempo excesivo en cambios de banda transportadora y caucho de cabezales. Falta de cajones para organización del machete terminado.

3.3.1 Identificar factores mediante la técnica de lluvia de ideas

En la empresa en estudio se evaluaron las líneas de producción de limas, palas, cucharas y machetes utilizando el método por puntos, con el propósito de identificar, de manera objetiva y estratégica, la línea más adecuada para su análisis y mejora.

Para definir los factores de evaluación para cada línea, se implementó una dinámica de lluvia de ideas (Sección 2.3.1) llevada a cabo en colaboración con el jefe de ingeniería y los supervisores. Este proceso se desarrolló siguiendo la siguiente metodología:

1. Definir el objetivo principal de la lluvia de ideas.
   Se estableció como objetivo la identificación de factores para seleccionar una línea de producción.
2. Designar modelador.
   Se designó al jefe de ingeniería como responsable de moderar y mantener la participación efectiva del equipo.
3. Elaborar un listado de factores.
   Se generó un listado inicial de los posibles factores de evaluación con base en las experiencias de cada uno de los participantes. El resumen de estos factores se muestra en la Figura 3.1.

3.3.2 Definir línea de producción con el método por puntos

Para determinar cuál de las líneas de producción de la empresa en estudio (Tabla 3.5) seria seleccionada como la línea objetivo para el desarrollo del presente proyecto, se implementó un enfoque basado en el método por puntos (Sección 2.3.2).

Este método por puntos permitió evaluar cada línea de producción utilizando los factores identificados, en la Sección 3.3.1, a través de la lluvia de ideas (Figura 3.1). A continuación, se describe los pasos de cómo se aplicó el método por puntos:

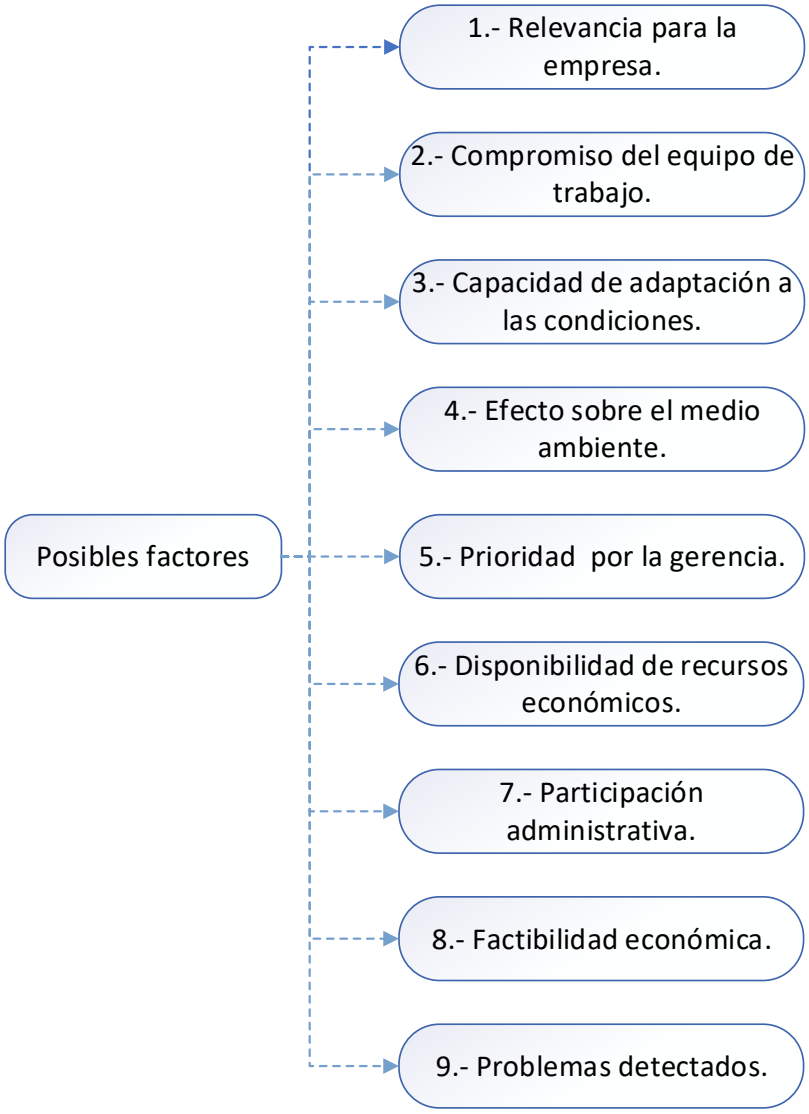


Figura 3.1. Posibles factores para la evaluación de la línea de producción. (fuente: elaboración propia).

1. Formación de equipo de trabajo. Se estableció un equipo compuesto por el jefe del departamento de ingeniería y los supervisores responsables de cada una de las líneas de producción de la empresa.
2. Identificación de factores prioritarios. Se utilizaron los factores mostrados en la Figura 3.1 para seleccionar sólo los factores prioritarios para evaluar las líneas de producción de la empresa en estudio con base en la experiencia de los integrantes del equipo. El resultado se muestra en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Factores prioritarios para la evaluación de las líneas de producción. (fuente: elaboración propia).

Factores prioritarios	Descripción
Problemas detectados.	Ineficiencias identificadas en los procesos de producción que requieren atención y mejora
Compromiso del equipo de trabajo.	Disposición y motivación del personal para participar activamente en el proyecto.
Relevancia para la empresa.	Importancia de implementar acciones en relación con los objetivos estratégicos.
Factibilidad económica	Analizar si los costos son justificables en relación con los beneficios esperados.
Tiempo disponible	Cantidad de tiempo que se tiene para llevar a cabo las mejoras propuestas.

3. Descripción de los factores prioritarios. La descripción de los factores prioritarios fue elaborada por el grupo de trabajo en colaboración con el jefe de ingeniería, lo que permitió obtener diversas perspectivas y, con base en ellas se creó una explicación clara y compresible para cada uno de los factores. El resultado se muestra en la Tabla 3.6.
4. Asignación de puntaje a los factores prioritarios utilizando una escala de 0 a 100, donde 100 indica la máxima importancia y 0 la mínima. Los resultados de esta asignación se presentan en la Tabla 3.7.
5. Definición de una escala para evaluar que tan bien cumple la línea de producción con los factores prioritarios. Se definió la escala de la Tabla 3.8, la cual está basada en las vocales A, E, I, O, U. En esta escala, la letra A indica la puntuación más alta, mientras que la letra U representa la puntuación más baja.
6. Calificación de cada factor prioritario por la línea de producción utilizando la escala de la Tabla 3.8, con base en qué medida se cumplía cada factor prioritario.
7. Cálculo de puntajes multiplicando los puntajes de cada factor por las calificaciones asignadas por cada línea de producción. Los resultados se presentan en la parte superior de cada celda de la intercepción de los factores prioritario y las líneas de producción, como se muestra en la Tabla 3.9.
8. Sumatoria de los puntajes obtenidos para cada línea de producción con el fin de identificar y seleccionar un área piloto para el desarrollo del proyecto. Los resultados de la sumatoria se muestran en la Tabla 3.9.

Tabla 3.7. Asignación de puntajes a los factores prioritarios.
(fuente: elaboración propia).

Número	Factor prioritario	Puntaje
1	Problemas detectados.	100
2	Compromiso del equipo de trabajo.	95
3	Relevancia para la empresa.	90
4	Factibilidad económica.	85
5	Tiempo disponible.	80

Tabla 3.8. Escala para definir que tan bien la línea de producción cumple con los factores prioritarios.
(fuente: elaboración propia).

Vocal	Significado	Valor
A	Sobresaliente (desempeño ideal o esperado).	4
E	Muy satisfactorio (cumple ampliamente).	3
I	Aceptable (resultados positivos, aunque básicos).	2
O	Regular (mejoras mínimas observadas).	1
U	Deficiente (sin progreso o beneficio).	0
X	Invalido (no aplica o incumple totalmente).	

Tabla 3.9. Método por puntos para la selección del área piloto en la empresa en estudio.
(fuente: elaboración propia).

Valoración de las líneas de producción

Pesos establecidos por:	I.P.L.	**Contados por:**	I.P.L.	**Planta:**	TecnoMetal S.A de C.V.
Calificado por:	I.P.L.	**Aprobado por:**	J.I.V.S.	**Fecha:**	07/01/25

Escala para evaluación			
A	Sobresaliente	O	Regular
E	Muy satisfactorio	U	Deficiente
I	Aceptable	X	Invalido

Descripción de línea de producción	
1.	Limas
2.	Palas
3.	Cucharas
4.	Machetes

No.	Factores prioritarios	Peso	Líneas por evaluar			
			1	2	3	4
1	Problemas detectados.	100	E 300	I 200	I 200	A 400
2	Compromiso del equipo de trabajo.	95	E 285	E 285	E 285	E 285
3	Relevancia para la empresa.	90	I 180	I 180	E 270	E 270
4	Factibilidad económica.	85	I 170	I 170	I 170	E 255
5	Tiempo económico.	80	I 160	I 160	I 160	E 240
	Total:		1,095	995	1,085	1,450

9. Con base en los resultados de la Tabla 3.9, obtenidos mediante la aplicación del método por puntos, se determinó que la línea de producción de machetes presenta la

mayor oportunidad de mejora, ya que presenta la mayor puntuación: 1,450 puntos. En consecuencia, se decidió seleccionar que ***la línea de producción de machetes será el área piloto*** para la implementación del presente proyecto.

3.4 Recolectar datos en el área piloto: línea de producción de machetes

Para comprender el funcionamiento de las operaciones y su impacto en la producción del área piloto de la línea de producción de machetes, se realizaron las siguientes actividades para obtener información clave sobre su funcionamiento:

- Analizar la distribución del área piloto: línea de producción de machetes.
- Elaborar diagrama SIPOC del área piloto: línea de producción de machetes.

3.4.1 Analizar la distribución del área piloto: línea de producción de machetes

La distribución del área piloto, correspondiente a la línea de machetes, se divide en las siguientes tres áreas, las cuales están localizadas en diferentes zonas dentro de la empresa:

- Área 1: proceso inicial.
- Área 2: proceso de acabado.
- Área 3: proceso de inyección de plástico.

Si bien estas áreas se encuentran separadas debido a limitaciones de espacio, cada una cuenta con su respectiva maquinaria que garantizan un flujo eficiente de las operaciones.

3.4.1.1 Área 1: proceso inicial

El Área 1 cuenta con 15 máquinas destinadas al proceso inicial de la fabricación de machetes, como se ilustra en la Figura 3.2. Estas máquinas desempeñan operaciones fundamentales que definen las características del producto y aseguran el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos.

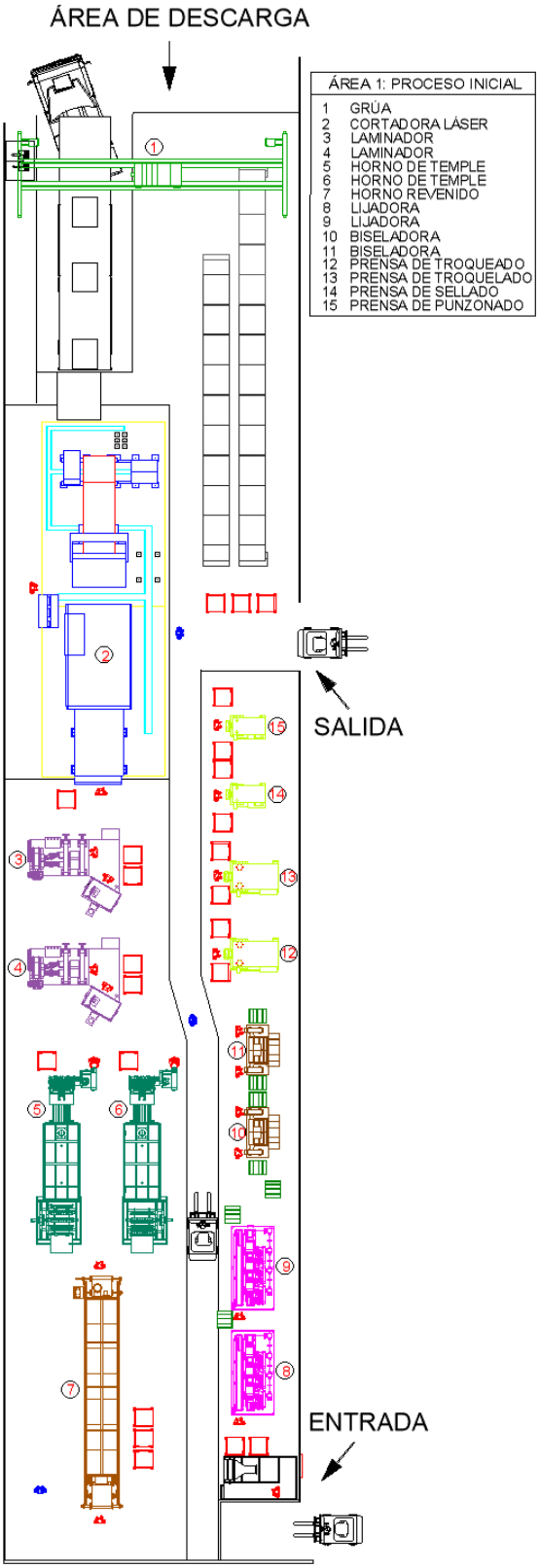


Figura 3.2. Distribución de maquinaria en el área 1 del proceso inicial. (Empresa en estudio, 2024).

Para complementar esta información, la Tabla 3.10 proporciona una descripción detallada de cada máquina utilizada en el Área 1, incluyendo sus características principales y la cantidad disponible.

Tabla 3.10. Descripción de la maquinaria en el área 1: proceso inicial. (fuente: elaboración propia).

Nombre de la máquina	No.	Descripción
Grúa	1	Su principal tarea es descargar las bobinas y alimentar la cortadora láser, asegurando un suministro continuo de material. Además, también se utiliza para mover las cajas de machetes entre procesos cuando éstas resultan difíciles de trasladar manualmente, facilitando así el flujo de trabajo y reduciendo el esfuerzo físico requerido
Cortadora laser	1	Se encarga de realizar cortes en la lámina de acero según la referencia específica del machete. Utiliza una bobina de acero como materia prima y está equipada con una estación de control que permite seleccionar y configurar la referencia correspondiente para su fabricación.
Laminador	2	Esta estación de trabajo se divide en dos etapas: la primera etapa es un horno que calienta la lámina hasta alcanzar un estado de rojo vivo. En la segunda etapa, la lámina pasa a través de rodillos giratorios que la expanden, facilitando la inserción del machete en el material.
Prensa de troquelado	2	En esta prensa se lleva a cabo el corte de la lámina expandida en la forma específica del machete, utilizando un troquel diseñado según la referencia correspondiente.
Prensa de sellado	1	Esta prensa se utiliza exclusivamente para grabar el logotipo de la marca en cada machete fabricado, garantizando su identificación.
Prensa de punzonado	1	Esta prensa tiene la función de perforar el machete, creando orificios necesarios para insertar el perno que sujeta la carcha (mango). La prensa se utiliza para machetes que no llevan mango de plástico inyectado.
Horno de temple	2	Aquí el machete se somete a una temperatura especifica hasta alcanzar un tono rojo vivo, posteriormente, se somete a un tratamiento termino en aceite y se limpia de virutas de acero.
Horno de revenido	1	En este horno al machete se le aplica mayor calor en la punta para incrementar su dureza.
Lijadora	2	Esta máquina pule cada cara del machete, eliminando manchas y proporcionando un acabado limpio.
Biseladora	2	En esta máquina se define la zona del machete donde se colocará el filo.

3.4.1.2 Área 2: proceso de acabado

El área 2 cuenta con 11 elementos: 4 bancos de madera y 7 máquinas; distribuidos estratégicamente (Figura 3.3) para llevar a cabo la etapa final en la fabricación de machetes. Los bancos de madera y las máquinas están diseñadas no sólo para perfeccionar el acabado estético del producto, sino para asegurar su cumplimiento con los estándares de calidad y funcionalidad requeridos.

En la Tabla 3.11 se presenta una descripción detallada del proceso que se realiza con cada elemento del área 2, incluyendo sus principales características y cantidad disponible.

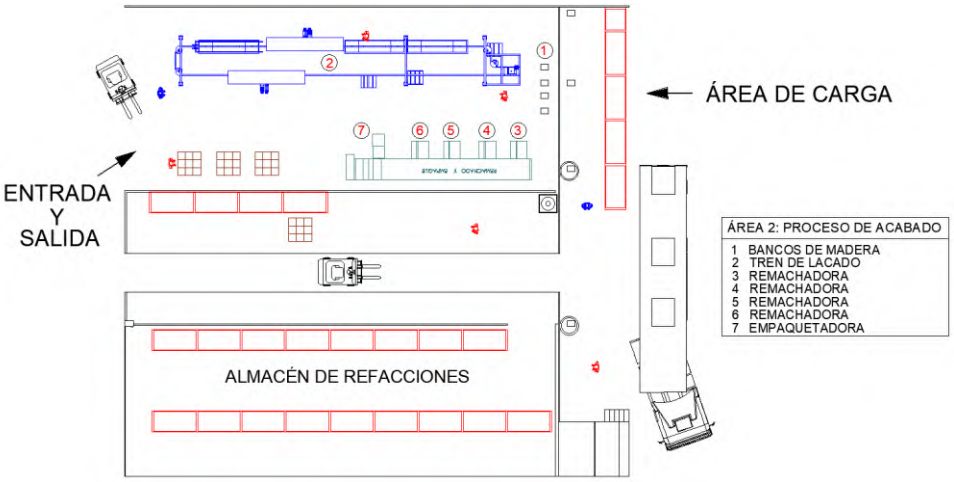


Figura 3.3. Distribución de maquinaria en el área 2 del proceso de acabado. (Empresa en estudio, 2024).

Tabla 3.11. Descripción de maquinaria en el área 2 del proceso de acabado. (fuente: elaboración propia).

Nombre del elemento	No.	Descripción
Bancos de madera	4	En los bancos de madera, un operador inspecciona y endereza el machete asegurando que el producto esté lo más derecho posible.
Tren de lacado	1	El tren de lacado transporta los machetes que se someten a varias etapas: lavado, inmersión en barniz antioxidante, aplicación de un líquido para retener el barniz y finalmente, secado en un horno.
Remachadora	4	Cada una de estas máquinas se encarga de colocar el mango al machete, fijándolos mediante remaches para garantizar su firmeza.
Empaquetadora	2	Las empaquetadoras se utilizan para empacar únicamente los machetes que cuentan con mango fijado mediante remaches, listos para su transporte y distribución.

3.4.1.3 Área 3: proceso de inyección de plástico

El Área 3 cuenta con una empaquetadora y una inyectora de plástico. La inyectora es una máquina fundamental en el proceso de fabricación de mangos de plástico, ya que estos mangos han sido populares entre los compradores por su durabilidad y resistencia. La distribución de los elementos, dentro del área 3, se presenta en la Figura 3.4 y una breve descripción de cada elemento se proporciona en la Tabla 3.12.

3.4.2 Elaborar diagrama SIPOC del área piloto: línea de producción de machetes

Con el fin de implementar un enfoque claro y estructurado para identificar los elementos clave del área piloto se elaboró un diagrama SIPOC mediante el desarrollo de los siguientes pasos:

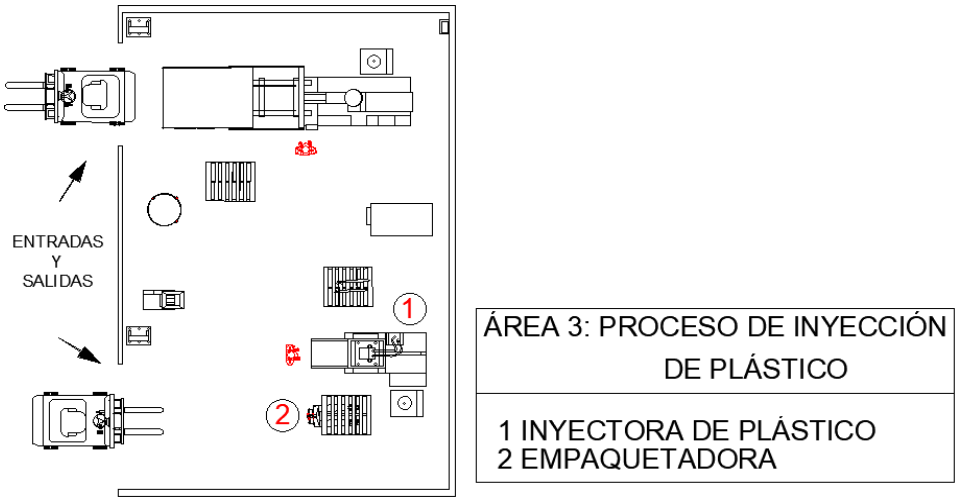


Figura 3.4. Distribución de maquinaria en el área 3 del proceso de inyección de plástico. (Empresa en estudio, 2024).

Tabla 3.12. Descripción de maquinaria en el área 3 del proceso de inyección de plástico. (fuente: elaboración propia).

Nombre del elemento	No.	Descripción
Inyectora de plástico	1	La inyectora de plástico se utiliza moldes donde se inserta el machete y se inyecta el plástico para formar el mango.
Empaquetadora	1	En la empaquetadora se empacan los machetes con mango de inyección de plástico en cajas de 12 piezas, preparadas para su distribución.

1. Identificar proveedores (S).
2. Detallar entradas o recursos necesarios (I).
3. Describir el proceso principal (P).
4. Especificar salidas o productos finales (O).
5. Identificar clientes o destinatarios(C).
6. Elaborar el diagrama SIPOC.

3.4.2.1 Identificar proveedores (S)

Para identificar a los proveedores, se inició con un análisis liderado por el departamento de ingeniería, quien proporcionó una lista preliminar de proveedores conocidos. No obstante, debido a la falta de un registro completo, se solicitó el apoyo del departamento de compras para complementar y validar la información.

Una vez consolidados los datos de ambos departamentos, los proveedores se agruparon por afinidad en cinco categorías: materiales y materias primas, servicios industriales y especializados, productos químicos y lubricantes, equipos y herramientas, y otros. Finalmente, los proveedores se registraron en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13. Tabla de proveedores del área piloto. (fuente: elaboración propia).

Proveedores				
Materiales y materias primas	**Servicios industriales y especializados**	**Productos químicos y lubricantes**	**Equipos y herramientas**	**Otros**
Allyan S.A. de C.V. Grupo Comercial de Maderas de Córdoba. Pebasur S.A. de C.V.	Sistemas de Infor-Inds S.A. Encortec. Gravados Monsa.	Química Monze Mexicana de Lubricante.	Industrias Lomas S.A.S. Arcoli S.A.S. Bellota Colombia. Equipos e insumos la europea.	Lidia del Carmen Méndez Belth. Etifley S.A. de C.V. Grupo San Roque. Fandely. Progmesa S.A. de C.V.

3.4.2.2 Detallar entradas o recursos necesarios (I)

Para identificar los recursos en la producción del área piloto, se realizó un análisis detallado en colaboración con los supervisores y el departamento de ingeniería. Este análisis permitió definir y documentar los siguientes recursos clave que garantizan la calidad y eficiencia de la producción:

- Equipos a calibrar. Incluyen los equipos utilizados en la línea de producción para garantizar la precisión y el correcto funcionamiento durante la fabricación del machete.
- Órdenes de servicio. Registro de solicitudes relacionadas con el tipo de machete a fabricar, asegurando que se cumplan los requerimientos específicos del cliente.
- Instrumentos patrón. Utilizados para verificar la exactitud de los equipos de medición, asegurando que éstos operen conforme a los estándares establecidos.
- Materiales de referencia. Materiales empleados para validar los procesos de fabricación, incluyendo aquellos con propiedades específicas necesarias para pruebas de calidad.
- Parámetros patrón (temperatura, peso, longitud y espesor). Valores estandarizados que deben cumplirse durante el proceso de producción del machete para garantizar su calidad y consistencia.
- Especificaciones técnicas de proceso (ETP). Documentación detallada de los procesos y métodos empleados en la fabricación del machete, proporcionando instrucciones claras y precisas para cada etapa del proceso.
- Norma ISO 9001 Versión 2015. Marco normativo que guía la gestión de calidad en la empresa, asegurando el cumplimiento de estándares internacionales y fomentando la mejora continua en los procesos y productos.

3.4.2.3 Describir proceso principal (P)

Los pasos que conforman el proceso de producción, en el área piloto, se representan de manera grafica en la Figura 3.5. Una breve descripción de cada paso se da a continuación:

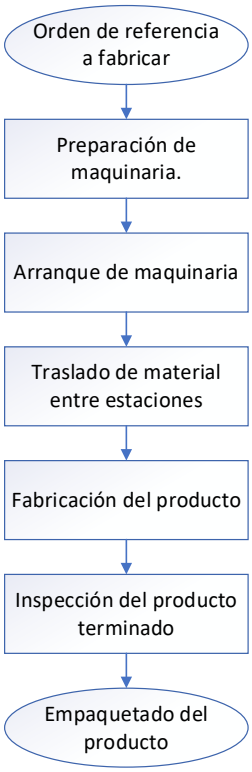


Figura 3.5. Diagrama de flujo del área piloto: línea de machetes. (fuente: elaboración propia).

- Orden de referencia a fabricar. Esta orden, emitida por el departamento de producción, especifica la referencia que se fabricará junto con sus características técnicas y requisitos.
- Preparación de la maquinaria. Los operadores realizan los ajustes necesarios al inicio de su turno, revisan las herramientas requeridas y, si es necesario, efectúan cambios de materiales.
- Arranque de maquinaria. Inicia la producción de la referencia de machetes indicada.
- Traslado de material entre estaciones. Los operadores transportan la materia prima entre estaciones utilizando patines o grúas, dependiendo del peso del contenedor donde se almacenan los machetes.
- Fabricación del producto. En cada estación, se ejecuta la operación correspondiente al proceso de fabricación del machete.
- Inspección del producto terminado. Antes de proceder al empaque, se realiza una inspección final para garantizar que los machetes no presenten defectos.

- Empaquetado del producto. El producto se empaqueta en cajas que contienen la cantidad de piezas correspondiente a la referencia fabricada.

3.4.2.4 Especificar salidas o productos finales (O)

La producción de machetes, según los departamentos de ingeniería y producción, está determinada por la región en la que serán comercializados, lo que implica una gran variedad de modelos para fabricar. Entre los más demandados se encuentran los siguientes:

- Machete caguayano. Ideal para tareas agrícolas y de limpieza de maleza en terrenos con vegetación densa. Su diseño lo hace eficiente para cortar ramas y hierbas gruesas.
- Machete extremo. Diseñado para trabajos rudos en ambientes selváticos o tropicales. Es comúnmente utilizado para abrir caminos, cortar bambú o realizar tareas de supervivencia.
- Machete acapulqueño. Conocido por su hoja curva, este machete es perfecto para trabajos de poda en plantaciones y cortes en ángulos específicos, especialmente en cultivos como el plátano o el café.
- Machete cañero. Como su nombre lo indica, está especializado para la cosecha de caña de azúcar. Su hoja está diseñada para cortes rápidos y precisos, facilitando la recolección de caña.
- Machete recto. Es un machete versátil utilizado para múltiples propósitos, desde limpiar maleza hasta cortar madera ligera, siendo una herramienta esencial para agricultores y campesinos.

3.4.2.5 Identificar clientes o destinatarios (C)

La venta del producto del área piloto ha logrado expandirse considerablemente, cubriendo distintas regiones. Inicialmente, se extendió por toda Centroamérica y las regiones del sur del país. Recientemente, también se ha comenzado a comercializar en las zonas norte del país, lo que ha contribuido a mejorar los resultados en la producción de machetes en esta línea de producción.

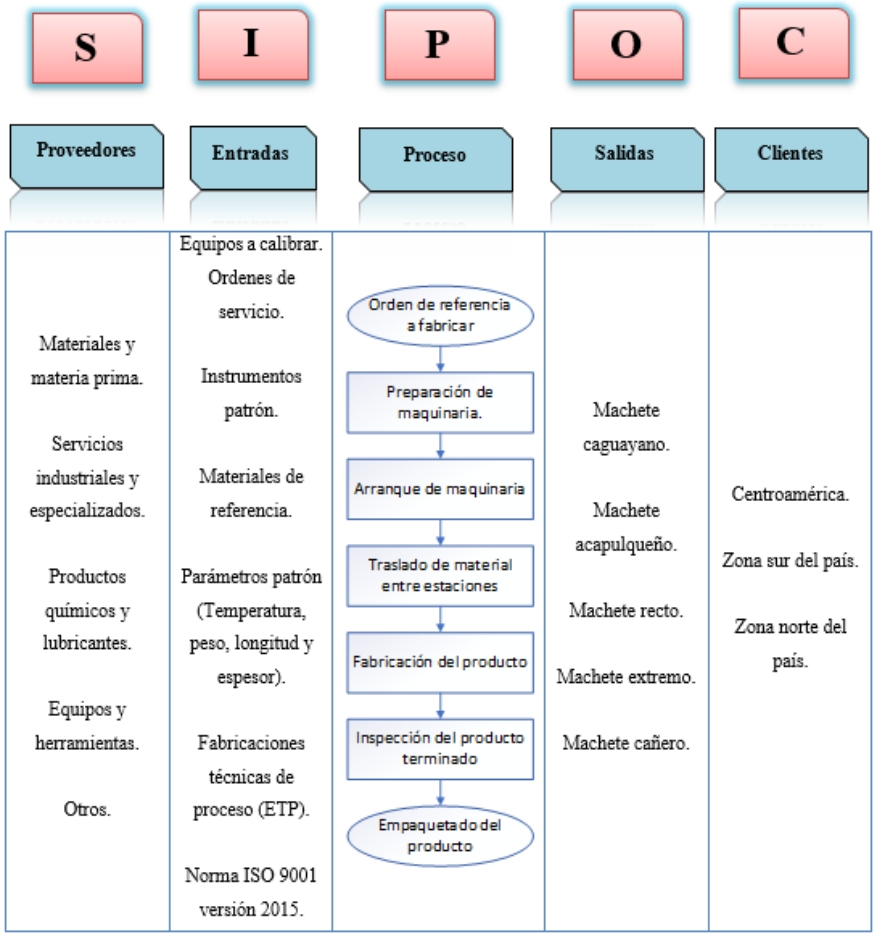
Las regiones abarcadas actualmente son las siguientes:

- Centroamérica
- Zona norte de México
- Zonas sur de México

3.4.2.6 Elaborar el diagrama SIPOC

Una vez identificados los elementos clave para la elaboración del diagrama SIPOC del área piloto (Secciones 3.4.2.1 a 3.4.2.5), se procedió a diseñarlo de forma clara y estructurada. Este diagrama sintetiza los aspectos más relevantes del proceso, ofreciendo una visión integral y comprensible de cada etapa involucrada. El resultado se presenta en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14. Diagrama SIPOC de línea de machetes.
(fuente: elaboración propia).



3.5 Elaborar VSM de la situación actual del área piloto

Una vez obtenido un panorama del área piloto (Sección 3.4.1 y Sección 3.4.2), correspondiente a la línea de machetes, se procedió a la elaboración de un mapa del estado presente (VSM), con el objetivo de identificar áreas de oportunidad para la realización de mejoras, mediante el siguiente procedimiento:

- Selección de la familia de productos a mapear en línea de machetes.
- Identificación de productos de la familia estrella
- Identificación de ruta de proceso de la familia estrella.
- Selección de indicadores.
- Cálculo de indicadores.
- Elaboración del mapa del estado actual.
- Análisis del mapa del estado actual

3.5.1 Selección de la familia de productos a mapear en línea de machetes

En esta sección se describe el proceso mediante el cual se determinó trabajar con una familia de productos en lugar de un producto único. Dado que la línea de machetes fabrica un total de 80 productos distintos, elaborar un mapa para cada uno de ellos resultaría inviable. Por ello, se optó por identificar un grupo representativo que permitiera un análisis eficiente y significativo. Para este propósito, se llevaron a cabo las siguientes acciones:

- Se llevó a cabo una recolección de información con el apoyo del área de producción, la cual proporcionó datos de producción de enero a septiembre del año 2024.
- Se realizó el siguiente análisis, con la información obtenida, considerando el volumen de producción de dicho año de cada producto:
- Se clasificaron los productos de mayor a menor según la cantidad de piezas producidas (Tabla 3.15) identificando que, en el periodo de enero a septiembre, se fabricaron 611,134 machetes.
- Se calculó el porcentaje del volumen de producción de cada producto con respecto a la fabricación total (Tabla 3.15), utilizando la Ecuación 3.1:

Tabla 3.15. Listado de referencias más producidas en el área piloto: área de machetes; y volumen acumulado.
(Empresa en estudio, 2024).

No. de referencia	Tipo de machete	Piezas producidas	% de volumen de producción	% de volumen de producción acumulado
1	Machete caguayano 1173-27"	200,424	32.80%	32.80%
2	Machete acapulqueño 905-27"	116,582	19.08%	51.87%
3	Machete acapulqueño 905-24"	58,020	9.49%	61.37%
4	Machete caguayano 1173-24"	43,645	7.14%	68.51%
5	Machete recto 460-18"	26,937	4.41%	72.91%
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
76	Machete superconfort 2127 12"	0	0.000%	100.000%
77	Machete superconfort 2127 22"	0	0.000%	100.000%
78	Machete superconfort 2127 24"	0	0.000%	100.000%
79	Machete superconfort 2127 26"	0	0.000%	100.000%
80	Machete superconfort 2127 28"	0	0.000%	100.000%
Total		**611,134**	100%	100%

$$\%\ de\ volumen\ de\ producción = \left(\frac{producción\ de\ la\ pieza}{producción\ total}\right) x\ 100 \ldots\ldots. (3.1)$$

- Se calculó el volumen acumulado para determinar qué conjunto de productos sería más adecuado para formar una familia (Tabla 3.15).
- Se identificaron cuatro familias (Tabla 3.16), clasificadas según el porcentaje de producción acumulado de la siguiente manera:
  - Familia estrella: compuesta por 5 productos, con un volumen de producción del 72.91%.
  - Familia abeja: integrada por 11 productos, con un volumen de producción del 20.51%.
  - Familia magia: conformada por 23 productos, con un volumen de producción del 6.57%.
  - Familia por desaparecer: incluye 41 productos, pero sin volumen de producción registrado (0%).
- Se elaboró un histograma de las cuatro familias identificadas para visualizar la elección de la familia a mapear (Figura 3.6). Como resultado, se confirmó que la **Familia Estrella** era la más adecuada para el análisis.

Tabla 3.16. Familias de producto en el área piloto.
(fuente: elaboración propia).

No. de familia	Familia	Productos por familia	Volumen producido	% de volumen de producción	% de volumen de producción acumulado
1	Estrella	5	445,606	72.91%	72.91%
2	Abeja	6	125,364	20.51%	93.43%
3	Magia	23	40,164	6.57%	100%
4	Por desaparecer	41	0	0%	100.%

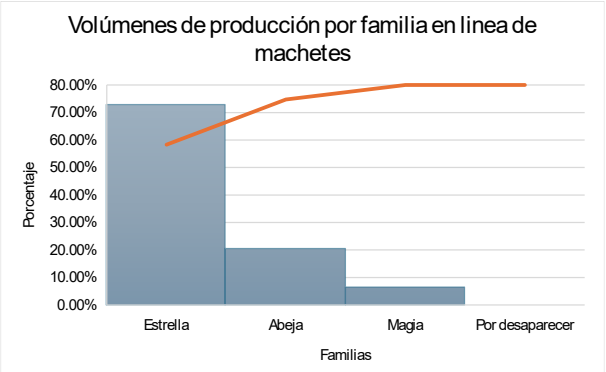


Figura 3.6. Histograma de volúmenes de producción por familia en la línea de machetes.
(fuente: elaboración propia).

3.5.2 Identificación de productos de la familia estrella

Para identificar los productos de la familia estrella, se realizó una investigación de la información técnica documentada en carpetas llamadas **"Especificaciones técnicas de proceso"**; carpetas ubicadas en puntos estratégicos dentro del área de producción. En estas carpetas se detallan las características específicas de cada producto, proporcionando datos clave para el cumplimiento de los estándares de fabricación. Además, se utilizó un catálogo de ventas para obtener información adicional sobre cada producto.

Para facilitar la comprensión y consulta de la información obtenida de cada uno de los productos identificados de la familia estrella, ésta se resumió en las siguientes tablas:

- Tabla 3.17. Información del producto machete caguayano 1173-27".
- Tabla 3.18. Información del producto machete caguayano 1173-24".
- Tabla 3.19. Información del producto machete acapulqueño 905-27".
- Tabla 3.20. Información del producto machete acapulqueño 905-24".
- Tabla 3.21. Información del producto machete recto 460-18".

Tabla 3.17. Información técnica del machete caguayano 1173-27". (Empresa en estudio, 2025).

Producto:	
Machete caguayano 1173-27"	

Uso:	Ideal para corte de caña, vegetación y maleza para mantenimiento de terrenos.
Descripción:	Machete para corte de matorrales, residuos de cultivo y ramas pequeñas, con cacha de plástico y hoja de acero de alto carbono que proporciona mayor flexibilidad y durabilidad.

Atributos y características			
Anchura de la hoja (mm)	**Forma de la hoja**	**Material del mango**	**Longitud del mango (mm)**
76.4	Curva	Polipropileno	138.2
Dimensiones			
Largo (mm)	**Ancho (mm)**	**Alto (mm)**	**Peso neto (en Kg)**
824	76.4	25	0.587
Acabados			
Material	**Color**	**Acabado**	
Acero, Polipropileno	Metal, Rojo	Mango texturizado	

Tabla 3.18. Información técnica del machete caguayano 1173-24". (Empresa en estudio, 2025).

Producto:	
Machete caguayano 1173-24"	

Uso:	Ideal para corte de caña, vegetación y maleza para mantenimiento de terrenos.
Descripción:	Machete para corte de matorrales, residuos de cultivo y ramas pequeñas, con cacha de plástico y hoja de acero de alto carbono que proporciona mayor flexibilidad y durabilidad.

Atributos y características			
Anchura de la hoja (mm)	**Forma de la hoja**	**Material del mango**	**Longitud del mango (mm)**
76.4	Curva	Polipropileno	138.2
Dimensiones			
Largo (mm)	**Ancho (mm)**	**Alto (mm)**	**Peso neto (en Kg)**
747.8	76.4	25	0.548
Acabados			
Material	**Color**	**Acabado**	
Acero, Polipropileno	Metal, Rojo	Mango texturizado	

Tabla 3.19. Información técnica del machete acapulqueño 905-27". (Empresa en estudio, 2025).

Producto:	
Machete acapulqueño 905 -27"	

Uso:	Ideal para corte de caña, vegetación y maleza para mantenimiento de terrenos.
Descripción:	Machete para corte de matorrales, residuos de cultivo y ramas pequeñas, con cacha de plástico y hoja de acero de alto carbono que proporciona mayor flexibilidad y durabilidad.

Atributos y características			
Anchura de la hoja (mm)	**Forma de la hoja**	**Material del mango**	**Longitud del mango (mm)**
72.5	Curva	Polipropileno	138.2
Dimensiones			
Largo (mm)	**Ancho (mm)**	**Alto (mm)**	**Peso neto (en Kg)**
824	72.5	20.7	0.54
Acabados			
Material	**Color**	**Acabado**	
Acero, Polipropileno	Metálico, Rojo	Mango texturizado	

Tabla 3.20. Información técnica del machete acapulqueño 905-24". (Empresa en estudio, 2025).

Producto:	
Machete acapulqueño 905 -24"	

Uso:	Ideal para corte de caña, vegetación y maleza para mantenimiento de terrenos.
Descripción:	Machete para corte de matorrales, residuos de cultivo y ramas pequeñas, con cacha de plástico y hoja de acero de alto carbono que proporciona mayor flexibilidad y durabilidad.

Atributos y características			
Anchura de la hoja (mm)	**Forma de la hoja**	**Material del mango**	**Longitud del mango (mm)**
72.5	Curva	Polipropileno	138.2
Dimensiones			
Largo (mm)	**Ancho (mm)**	**Alto (mm)**	**Peso neto (en Kg)**
747.8	72.5	20.7	0.537
Acabados			
Material	**Color**	**Acabado**	
Acero, Polipropileno	Metálico, Rojo	Mango texturizado	

Tabla 3.21. Información técnica del machete recto 460-24".
(Empresa en estudio, 2025).

Producto:	
Machete recto 460-18"	

Uso:	Ideal para corte de caña, vegetación y maleza para mantenimiento de terrenos.
Descripción:	Machete para corte de matorrales, residuos de cultivo y ramas pequeñas, con cacha de plástico y hoja de acero de alto carbono que proporciona mayor flexibilidad y durabilidad.

Atributos y características			
Anchura de la hoja (mm)	**Forma de la hoja**	**Material del mango**	**Longitud del mango (mm)**
75	Recta	Polipropileno	129.2
Dimensiones			
Largo (mm)	**Ancho (mm)**	**Alto (mm)**	**Peso neto (en Kg)**
586.4	75	25.6	0.38
Acabados			
Material	**Color**	**Acabado**	
Acero, Polipropileno	Metálico, Rojo	Mango texturizado	

3.5.3 Identificación de ruta de proceso de la familia estrella

Una vez identificados los productos de la familia estrella, se llevó a cabo la identificación de la secuencia de operaciones que siguen los productos de la familia estrella y las máquinas utilizadas en su elaboración del proceso de fabricación mediante las siguientes actividades:

- Identificación y secuenciación de procesos de fabricación.
- Representación gráfica del flujo de producción.
- Descripción de procesos.

3.5.3.1 Identificación y secuenciación de procesos de fabricación

Para obtener un conocimiento detallado del flujo del proceso de fabricación de la línea de machetes (área de producción), se decidió recopilar información directamente con el departamento de producción. Para ello, se llevaron a cabo entrevistas con su personal, permitiendo obtener una perspectiva clara y fundamentada sobre las actividades involucradas en cada etapa del proceso.

El objetivo principal de estas entrevistas fue identificar con precisión la secuencia del proceso productivo que sigue la familia estrella, asegurando que se documentaran correctamente todas las operaciones involucradas.

Para garantizar una interacción fluida y eficiente, se elaboraron las siguientes preguntas para obtener una dinámica concreta, evitando interferir con sus actividades laborales y asegurando que el tiempo dedicado fuera el estrictamente necesario, además se les dio a conocer cuales productos son la familia estrella:

- ¿Cuál es el flujo de maquinaria que recorren estos productos a lo largo del proceso?
- En caso de detectar una ineficiencia, ¿a qué proceso se retorna para corregirla?

Durante las entrevistas se registraron anotaciones que facilitaron el análisis del área de producción. Estas observaciones son presentadas en la Tabla 3.22.

Tabla 3.22. Secuencia de maquinaria de productos de la familia estrella. (fuente: elaboración propia).

Secuencia en maquinaria de los productos de familia estrella

Maquinaria	Caguayano 1173-27".	Caguayano 1173-24".	Acapulqueño 905-27".	Acapulqueño 905-24".	Recto 460-18".	Observaciones
Cortadora laser	x	x	x	x	x	
Laminador	x	x	x	x	x	
Prensa de troquelado	x	x	x	x	x	
Prensa de sellado	x	x	x	x	x	
Prensa de punzonado	x	x	x	x	x	
Horno de temple	x	x	x	x	x	
Horno revenido	x	x	x	x	x	Si el machete no recupera su forma tras la prueba de flexibilidad, se retorna al horno de temple.
Lijadora	x	x	x	x	x	
Biseladora	x	x	x	x	x	
Bancos de madera	x	x	x	x	x	Si el machete está manchado se retorna a lijadora
Tren de lacado	x	x	x	x	x	Si el machete tiene defectos, se aparta para revisión y corrección.
Remachadora	x	x	x	x	x	
Empaquetadora	x	x	x	x	x	

3.5.3.2 Representación gráfica del flujo de producción

Con base en la información obtenida en la Sección 3.5.3.1, se tomó la decisión de presentarla de una manera visual y clara, con el objetivo de mejorar su comprensión y facilitar su análisis. Para ello, de desarrolló la Figura 3.7 la cual muestra un diagrama de flujo del recorrido de los productos estrella a lo largo del proceso productivo. Esta representación gráfica permitirá identificar de manera efectiva los flujos operativos.

3.5.3.3 Descripción de procesos

Una vez identificada la ruta del proceso para los productos de la familia "estrella", se realizó la siguiente descripción de cada uno de los procesos involucrados en su fabricación para obtener una mejor compresión de cómo se realizan las operaciones y como interactúan las diferentes áreas de trabajo:

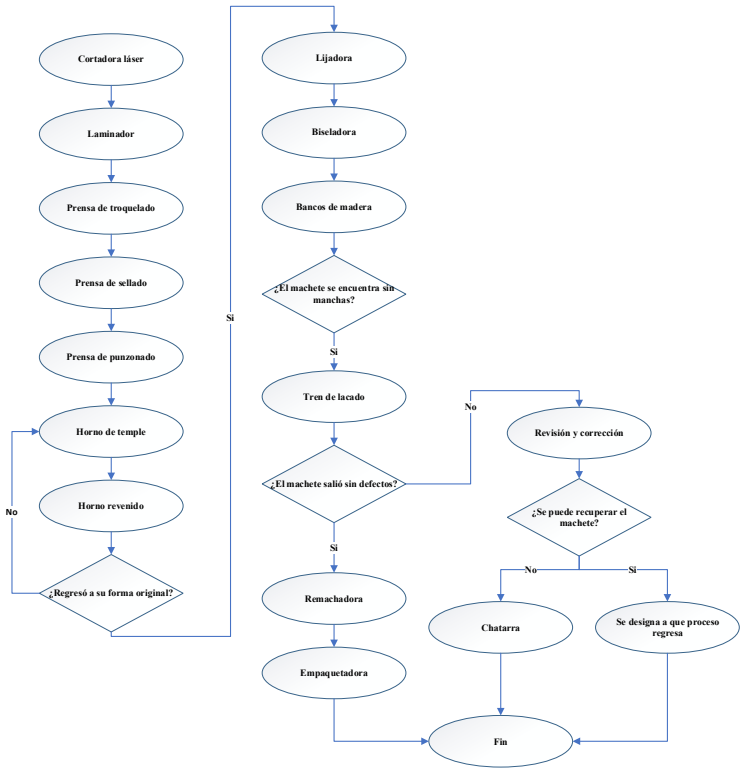


Figura 3.7. Ruta del proceso de la familia estrella.
(fuente: elaboración propia).

- **Cortadora laser.** Esta máquina está alimentada por una bobina metálica que es consumida conforme a la producción de la planta. Su función principal es realizar cortes precisos en las hojas de metal, asegurando que cada machete tenga la forma y dimensiones exactas requeridas. Esto mejora la calidad del producto final y reduce el desperdicio de material. La cortadora láser es operada por un operador capacitado y cuenta con un área de control donde se ajusta el cabezal de la máquina. En esta área, se mantienen los productos en formato de dibujos para llevar a cabo los cortes.
- **Laminador.** Esta máquina expande la lámina en la que se formará el machete mediante dos rodillos giratorios. El proceso consta de las siguientes etapas:
    1. Calentamiento de la punta de la hoja de la lámina en un horno hasta alcanzar un color rojo vivo.
    2. Estiramiento gradual de la lámina por medio de rodillos. La cantidad de "golpes" (veces que pasa la lámina por los rodillos) depende de la referencia del machete.
    3. Comparación de la lámina obtenida con un machete patrón para verificar que las dimensiones sean correctas.
    4. Colocación de la lámina en una prensa neumática para evitar deformaciones.
- **Prensa de troquelado.** Esta máquina se encarga de cortar la lámina para obtener el machete según la referencia solicitada. Para ello, se utilizan troqueles con la forma exacta del machete, los cuales aplican presión sobre la lámina para realizar el corte de manera precisa y uniforme y obtener el machete.
- **Prensa de sellado.** Esta máquina se encarga de sellar el machete previamente cortado.
- **Prensa de punzonado.** Esta máquina perfora el área donde se fijará la cacha, realizando cuatro orificios en la hoja del machete. Estas perforaciones permiten que, posteriormente, en el área de remachado, se coloquen y aseguren los remaches correctamente.
- **Horno de temple.** Esta máquina tiene el propósito dar la dureza al machete. Su proceso se divide en tres etapas:
    1. Eliminación de rebabas generadas por las prensas mediante una pulidora antes de ingresar el machete al horno.

2. Introducción del machete al horno, sujetándolo con mordazas, donde se somete a una temperatura elevada hasta alcanzar un color rojo vivo.
3. Inmersión del machete en aceite de alta temperatura para complementar el tratamiento térmico, mejorando su dureza y resistencia.

- **Horno revenido.** Esta máquina complementa el proceso del horno de temple siguiendo la siguiente secuencia:
  1. Eliminación de la cascarilla de laminación del machete, tras haber complementado el tratamiento térmico.
  2. Colocación del machete en una banda transportadora que lo introduce en el horno revenido.
  3. Aplicación de calor adicional a la punta del machete para mejorar su desempeño y durabilidad.
  4. Realización de prueba de flexibilidad al machete. Si regresa a su estado original, se considera aprobado; de lo contrario, se repite el proceso desde el horno de temple.
- **Lijadora.** Esta máquina limpia y pule el machete después del tratamiento térmico, dejándolo con su acabado final. El proceso se realiza mediante una banda transportadora y tres cabezales, cada uno equipado con una lija. A medida que el machete pasa por estos cabezales, se eliminan impurezas y se perfecciona su superficie de manera gradual, asegurando un acabado uniforme y de calidad.
- **Biseladora.** Esta máquina se encarga de formar el bisel en la hoja del machete, definiendo la zona donde se afilará el filo.
- **Bancos de madera.** Estos bancos se utilizan para enderezar el machete de forma manual. Los operadores, mediante inspección visual, identifican cualquier desviación en la hoja y aplican los ajustes necesarios hasta corregir la deformación. Si el machete tiene manchas, se regresa a la lijadora.
- **Tren de lacado.** Este sistema transporta los machetes a través de la siguiente secuencia para aplicar un recubrimiento protector:
  1. Realización del lavado de los machetes para eliminar impurezas antes de aplicar el recubrimiento protector.

2. Inmersión de los machetes en un barniz antioxidante, que protege la hora contra la corrosión.
3. Aplicación de líquido para fijar el barniz de manera uniforme en la superficie del machete.
4. Introducción de los machetes en un horno de secado, donde el recubrimiento se endurece, garantizando una mayor durabilidad.
5. Separación de los machetes con defectos para su revisión y corrección.

- **Remachadora.** Esta máquina se encarga de sujetar las carchas (mangos) al machete mediante remaches. Utiliza un sistema hidráulico que proporciona la fuerza necesaria para insertar los remaches con precisión y seguridad, garantizando una unión firme y duradera entre la hoja y el mango.
- **Empaquetadora.** Este proceso incluye la colocación de los machetes en cajas adecuadas, que proporcionan protección durante el traslado y almacenaje. Además, se incluyen etiquetas informativas que detallan las especificaciones del producto, lo que facilita la identificación y el manejo en el punto de venta.

3.5.4 Selección de indicadores

Para seleccionar los indicadores a utilizar en la elaboración del mapa del estado presente, de la línea de producción de machetes, se revisaron indicadores comúnmente empleados para el desarrollo de un VSM y se seleccionaron los siguientes:

- Tiempo de ciclo (TC). Tiempo promedio que tarda un proceso en completar un producto.
- Tiempo de ciclo por lote (TCL). Tiempo necesario para fabricar un lote completo, desde el inicio del primer producto hasta la finalización del último.
- Tiempo de fabricación (TF). Tiempo durante el cual las piezas permanecen dentro de un proceso especifico.
- Tiempo operador (TO). Tiempo que los trabajadores se dedican a actividades directamente en el proceso de un producto.
- Tiempo de máquina (TM). Tiempo que un producto permanece dentro de un proceso.

- Tasa de salida en piezas por minuto (TSM). Número de machetes que se producen por minuto en una máquina.
- Lote de transferencia (LT). Cantidad de machetes agrupados para su traslado al siguiente proceso.
- Número de máquinas (NM). Número de máquinas en operación en cada proceso.
- Número de turnos (NT). Cantidad de jornadas laborales en los que se divide un día de trabajo.
- Número de operadores (NO). Número de trabajadores que participan en cada proceso por jornada laboral.
- Tiempo de producción disponible (TPD). Tiempo disponible en horas por turno en la línea de machetes.
- *Takt time*. Ritmo de producción requerido para cumplir con la demanda del cliente.
- Inventario entre proceso. Cantidad de machetes que se encuentran en las etapas de producción, es decir, aquellos que esperan ser procesados.
- *Lead time*. Período total que transcurre desde el inicio de una orden de producción hasta que el machete está completamente listo para ser entregado al cliente final.
- Demanda mensual. Cantidad de machetes requerida en un mes para satisfacer las necesidades del cliente.
- Demanda diaria. Número de machetes que deben producirse cada día para satisfacer la demanda mensual.

3.5.5 Cálculo de indicadores

Para obtener el cálculo de los indicadores se realizó lo siguiente:

1. Se llevó a cabo una recolección de datos durante un periodo de dos semanas en el turno mixto, con el objetivo de medir los siguientes indicadores y promediar los datos obtenidos durante el periodo de recolección:
    - Tiempo de ciclo (TC).
    - Tiempo de ciclo por lote (TCL).
    - Tiempo de fabricación (TF)
    - Tiempo operador (TO).

- Tiempo de máquina (TM).
- Tasa de salida en piezas por minuto (TSM).

2. Se investigó información de los siguientes indicadores:
    - Lote de transferencia (LT).
    - Número de máquinas (NM).
    - Número de turnos (NT).
    - Número de operadores (NO).
    - Inventario entre proceso.
    - *Lead time*.

- Se midió y se calcularon los siguientes indicadores:
    - Tiempo de producción disponible (TPD) en horas por turno se calculó restando al tiempo total de un turno (8 horas) el tiempo destinado al descanso para alimentos (0.5 horas), el tiempo planificado para limpieza de área de trabajo al final de cada turno (0.25 horas) y el tiempo asignado a interrupciones operativas imprevistas (0.25 horas) tal como lo muestra la Ecuación 3.2.

$$TPD = T - C - L - A \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots. (3.2)$$

Donde:

TPD = Tiempo de producción disponible.

T = Turno de 8 horas.

C = Tiempo de desayuno/comida/cena (horas/turno).

L = Tiempo de limpieza del área (horas/turno).

A = Tiempo de ajuste o de ir al baño (horas/turno).

- *Takt time*. Se calculó dividiendo el tiempo disponible para la producción entre el número de productos que los clientes solicitan.

$$Tt = \frac{TDP}{D_d} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.3)$$

Donde:

Tt = *Takt time* (tiempo disponible por unidad producida).

TPD = Tiempo de producción disponible (horas/día).

D_d = Demanda diaria de productos (unidades/día).

- Demanda promedio mensual.

$$DP_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i}{n} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.4)$$

Donde:

DP_m = Demanda promedio mensual (unidades/mes).

P_i = Producción de cada mes en el periodo analizado.

n = Número de meses analizados.

- Promedio mensual total.

$$PM_t = \frac{DP_m}{P} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.5)$$

Donde:

PM_t = Promedio mensual total (unidades/mes).

DP_m = Demanda promedio mensual (unidades/mes).

P = Número de productos.

- Demanda diaria.

$$D_d = \frac{D_m}{D_t} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.6)$$

Donde:

D_d = Demanda diaria (unidades/día).

D_m = Demanda mensual (unidades/mes).

D_t = Días laborales en el mes.

En la Tabla 3.23 se muestra cómo se determinó la demanda mensual (DP_m) y el promedio mensual total (PM_t) con base a los datos registrados de enero a septiembre del 2024 (Sección 3.5.1). Por otro lado, la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta los r esultados de los indicadores seleccionados para la elaboración del VSM, reflejando el estado actual de la línea de producción de machetes.

Tabla 3.23. Producción mensual de machetes de familia estrella. (Empresa en estudio, 2024).

Nombre del Machete	Periodo									Total	
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Piezas	DP_m
Caguayano 1173-27".	4,320	28,020	30,840	22,464	42,240	22,740	15,900	18,000	15,900	200,424	22,269
Caguayano 1173-24".	7,680	17,340	4,740	7,705	3,120	60	3,000	0	0	43,645	4,849
Acapulqueño 905-27".	0	6,180	9,720	13,560	10,800	24,060	17,520	17,640	17,100	116,580	12,953
Acapulqueño 905-24".	6,480	6,120	660	9,780	7,260	2,700	7,260	9,300	8,460	58,020	6,447
Recto 460-18".	12,360	96	2,256	72	0	4,824	48	5,505	1,776	26,937	2,993
								Producción total		445,606	49,511
								PM_t		89,121	9,902

Tabla 3.24. Indicadores de VSM. (fuente: elaboración propia).

Indicadores del VSM del estado actual											
Procesos línea de machete	TC	TM	TO	TCL	TF	TSM	NM	NT	NO	TPD	LT
	$\frac{seg}{pza}$	$\frac{seg}{pza}$	$\frac{seg}{pza}$	$\frac{min}{lote}$	$\frac{min}{lote}$	$\frac{pza}{min}$	$\frac{máq}{proceso}$	$\frac{turnos}{día}$	$\frac{oper}{proceso}$	$\frac{hr}{turno}$	$\frac{pzas}{proceso}$
Cortadora laser	10	264	156	7.00	---	6	1	2	1	7	42
Laminador	10	7	3	21.66	---	6	1	3	2	7	130
Prensa de troquelado	6.5	3	3.5	4.44	---	9	1	2	1	7	40
Prensa de sellado	3	1.5	1.5	2.00	---	20	1	2	1	7	40
Prensa de punzonado	3	1.5	1.5	2.00	---	20	1	2	1	7	40
Horno de temple	7.5	337	40	---	6.28	8	1	3	1	7	11
Horno revenido	4.28	942	5	---	15.78	14	1	3	1	7	8
Lijadora	12	11	1	40	---	5	2	3	4	7	200
Biseladora	7.5	6	1.5	12.5	---	8	3	3	3	7	100
Bancos de madera	8.6	0	8.6	14.28	---	7	3	3	3	7	100
Tren de lacado	3	1546	20	---	26.1	20	1	2	1	7	20
Remachadora	15	4	11	10	---	4	2	2	2	7	40
Empaquetadora	1	3	318	5.35	---	---	1	2	1	7	60

3.5.6 Elaboración del mapa del estado actual

Una vez definida la familia a mapear (Sección 3.5.1), identificados los productos que la componen (Sección 3.5.2), determinada la ruta de procesos que siguen (Sección 3.5.3) y seleccionados los indicadores junto con sus respectivos cálculos (Sección 3.5.4 y Sección 3.5.5), se procedió a elaborar el VSM (Figura 3.8 y Figura 3.9), en el cual se colocaron números que hacen referencia al procedimiento utilizado, y el cual corresponde al descrito en la Sección 2.2.3.4.

1. Dibujar los iconos del cliente, proveedor y control de producción (Figura 3.8).
2. Registrar los requerimientos del cliente por mes o por día (Figura 3.9).
3. Calcular la demanda diaria (Figura 3.9).
4. Dibujar el icono de envíos salientes e icono de un camión para representar la frecuencia de entrega (Figura 3.9).
5. Dibujar el icono de envíos entrantes, icono del camión y datos de la frecuencia de entrega (Figura 3.8).
6. Dibujar cuadros para cada proceso en secuencia, de izquierda a derecha (Figura 3.8 y Figura 3.9).
7. Añadir cuadros de datos debajo de los cuadros de proceso (Figura 3.8 y Figura 3.9).
8. Añadir una línea de tiempo para las actividades con y sin valor agregado (Figura 3.8 y Figura 3.9).
9. Añadir flechas de comunicación e indicar métodos (Figura 3.8 y Figura 3.9).

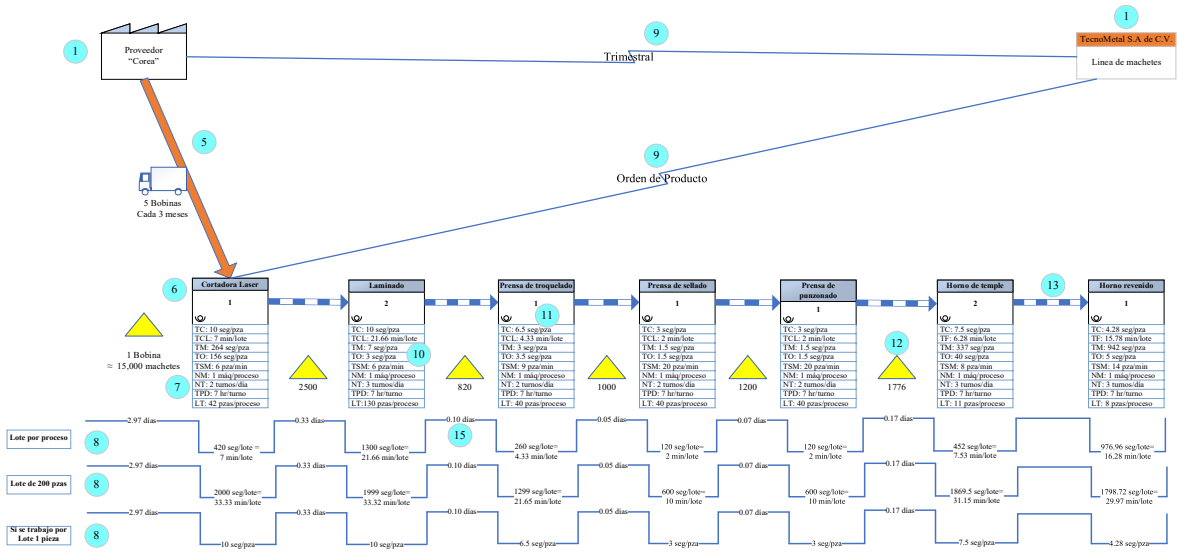


Figura 3.8. Primera parte del VSM en su estado actual. (fuente: elaboración propia).

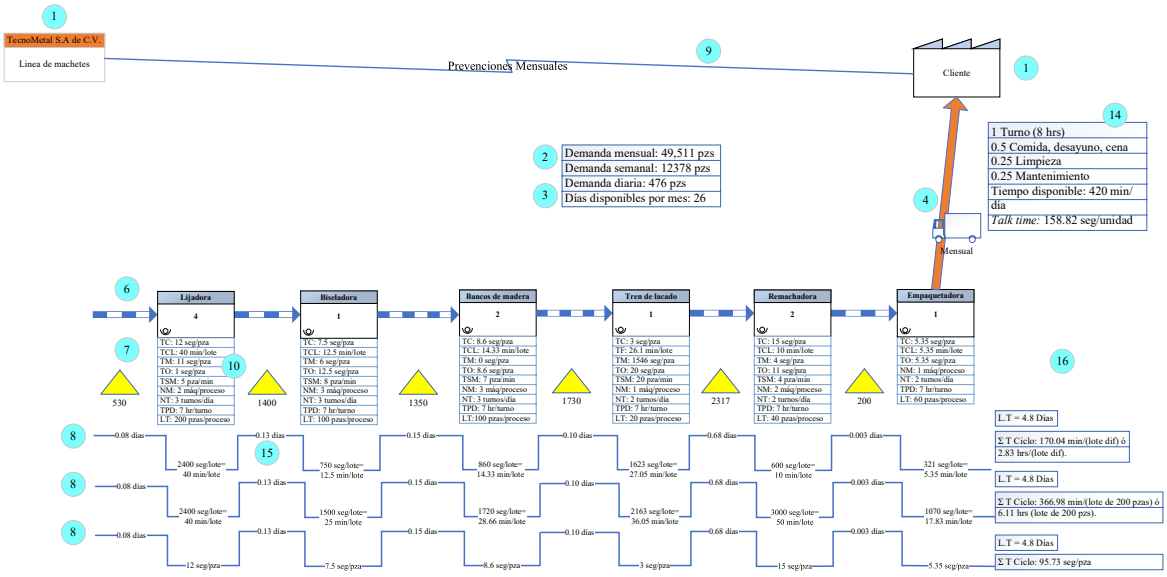


Figura 3.9. Segunda parte del VSM en su estado actual (fuente: elaboración propia).

10. Incorporar atributos de los procesos en los cuadros de datos (Figura 3.8 y Figura 3.9).
11. Añadir símbolos y números de operadores (Figura 3.8).
12. Incluir ubicaciones y niveles de inventario en unidades de producción (Figura 3.8).
13. Incorporar iconos de empuje, arrastre y FIFO (Figura 3.8).
14. Especificar las horas de trabajo (Figura 3.9).

15. Calcular los tiempos de entrega o *Lead Time* (Figura 3.8 y Figura 3.9) utilizando la Ecuación 3.8.

$$T_d = \frac{I}{(TSM)(M_T)(NT)} \quad (3.8)$$

Donde:

T_d = Tiempo en días.

I = Inventario.

TSM = Tasa de salida por minuto (pzas/min).

M_t = Minutos por turno (min/turno).

NT = Número de turnos (turnos/día).

16. Determinar el tiempo total de ciclo (LT) y el tiempo de entrega total (Figura 3.9), mediante la sumatoria de los tiempos de ciclo de cada proceso.

3.5.7 Análisis del mapa del estado actual

Analizando el VSM del estado actual de la línea de machetes, presentado en la Figura 3.8 y la Figura 3.9, se observó:

1. **Tiempo de fabricación alto.** Los procesos con mayor tiempo de fabricación son los siguientes:
    - Tren de lacado (26.1 min/lote).
    - Horno revenido (15.78 min/lote).
    - Horno de temple (6.28 min/lote).
2. **Exceso de inventario**. La acumulación de piezas en espera de ser procesadas es un problema común en la línea. Los procesos con mayor inventario acumulado son los siguientes:
    - Laminado (2500 machetes).
    - Remachadora (2317 machetes).
    - Horno de temple (1776 machetes).
    - Tren de lacado (1730 machetes).

3. **Tiempo alto para procesar el inventario acumulado**. Los procesos con mayor tiempo de acumulación de inventario son los siguientes:
    - Remachadora (0.68 días).
    - Laminado (0.33 días).
    - Horno revenido (0.17 días).
    - Bancos de madera (0.15 días).
    - Biseladora (0.13 días).
4. **Cuellos de botella**. Los procesos con mayor tiempo de ciclo por lote de 200 machetes, que generan cuellos de botella, son los siguientes:
    - Horno de revenido (29.97 min/lote).
    - Tren de lacado (36.05 min/lote).
    - Horno de temple (31.15 min/lote).
    - Remachadora (50 min/lote)
    - Lijadora (40 min/lote).
    - Laminado (33.32 min/lote).
5. **Baja tasa de salida por minuto**. Los procesos con menor tasa de salida por minuto son los siguientes:
    - Laminado (6 pzas/min).
    - Lijadora (5 pzas/min).
    - Remachadora (4 pzas/min).

Posteriormente, se presentaron las observaciones al jefe de ingeniería, y el destacó que, aunque los procesos de horno revenido, tren de lacado y horno de temple presentan tiempos de fabricación alto, para la primera pieza, esto se compensa con el bajo tiempo de ciclo de las piezas en proceso, es decir, estos procesos permiten una salida muy rápida, aproximadamente cada 8, 3 y 7.5 segundos, respectivamente.

Por otro lado, se identificó que los procesos de laminado, lijadora y remachadora tienen las menores tasas de salida, y que los procesos de laminado, y remachadora tienen los mayores tiempos de acumulación de inventario, lo que impacta directamente en la eficiencia general de la línea. Como resultado, se decidió enfocarse en mejorar alguno de estos procesos,

buscando optimizar su velocidad y reducir los tiempos de espera sin afectar la calidad del producto.

3.6 Seleccionar área de oportunidad: proceso de la línea de machetes

Tras analizar la situación actual de la línea de producción de machetes, detectar áreas de oportunidad, presentar los resultados obtenidos (Sección 3.5.7) al jefe de ingeniería y recibir sus observaciones, se procedió a seleccionar un área de oportunidad que aporte beneficios significativos a la empresa mediante las siguientes actividades:

- Selección de áreas de oportunidad mediante una matriz de priorización.
- Justificación de la elección del proceso seleccionado.

3.6.1 Selección de áreas de oportunidad mediante una matriz de priorización

Para seleccionar un área de oportunidad que genere los mayores beneficios para la empresa se evaluaron los procesos con menor tasa de salida y mayores tiempos de acumulación de inventario en la línea de producción de machetes: remachadora, lijadora y el laminado; mediante una matriz de priorización (Sección 2.3.3)

La matriz de priorización se elaboró ajustando los pasos descritos en la Sección 2.3.3.2:

1. **Definición del objetivo a conseguir.** El objetivo seleccionado fue identificar y seleccionar aquel proceso, dentro de la línea de producción de machetes, cuya optimización aporte mayor beneficio a la empresa.
2. **Creación de criterios para la evaluación de los procesos**. Los siguientes criterios fueron definidos para facilitar la comparación entre los procesos y determinar cuál tenía la mayor prioridad:
    A. Prioridad asignada por el jefe de ingeniería.
    B. Acumulación de inventario entre proceso.
    C. Tiempo de ciclo por lote.
    D. Tasa de salida por minuto limitada.
    E. Tiempo excesivo de preparación de maquinaria.

3. **Asignación de escala de valoración para criterios y procesos**. Se utilizó la siguiente escala numérica para evaluar y comparar la importancia entre los criterios de evaluación de procesos:

   1 = Misma importancia

   5 = Significativamente más importante.

   10 = Mucho más importante.

   $\frac{1}{5}$ = Significativamente menos importante.

   $\frac{1}{10}$ = Mucho menos importante.

4. **Identificación de la importancia relativa de cada criterio**. Se valoró cada criterio con la escala de valoración comparando cada criterio contra los demás criterios. Los resultados, presentados en la Tabla 3.25, destacan que la mayor importancia relativa es para el criterio A: prioridad asignada por el jefe de ingeniería; y la de menor importancia es la del criterio E: Tiempo excesivo de preparación de maquinaria.

Tabla 3.25. Resultado de evaluación de cada criterio.
(fuente: elaboración propia).

Evaluación por cada criterio

Realizado por:	I.P.L.			**Planta:**	TecnoMetal S.A. de C.V.
Calificado por:	I.P.L.	**Aprobado por:**	J.I.V.S.	**Fecha:**	20/02/2025

Criterios por evaluar	
A	Prioridad asignada por el jefe de ingeniería.
B	Acumulación de inventario entre proceso.
C	Tiempo de ciclo por lote.
D	Tasa de salida por minuto limitada.
E	Tiempo excesivo de preparación de maquinaria.

Escala de valoración	
1	Misma importancia.
5	Significativamente más importante
10	Mucho más importante
1/5	Significativamente menos importante
1/10	Mucho menos importante

	A	B	C	D	E	Total	Porcentaje
A		5	10	10	5	30.00	48.54%
B	1/5		5	5	5	15.20	24.60%
C	1/10	1/5		5	5	10.30	16.67%
D	1/10	1/5	1/5		5	5.50	8.90%
E	1/5	1/5	1/5	1/5		0.80	1.29%
Total	0.60	5.60	15.40	20.20	20	61.80	100.00%

5. **Evaluación de procesos en función del criterio A**. Para garantizar una revisión completa se comparó cada uno de los procesos contra los demás procesos: remachadora, lijadora y el laminado; en función del criterio A.

   La Tabla 3.26 muestra el resultado obtenido: la lijadora tiene la evaluación más alta: 68%.

6. **Evaluación de procesos en función de los criterios B al E**. Estas evaluaciones se realizaron de igual manera que con el criterio A. Los resultados obtenidos (Anexo 1) fueron los siguientes:
   a) Criterio B: La lijadora obtuvo un 47.65%.
   b) Criterio C: La remachadora sobresalió con un 39.43%.
   c) Criterio D: La lijadora alcanzó un 39.47%.
   d) Criterio E: La lijadora destacó con un 47.65%.

Tabla 3.26. Priorización con base en el criterio A.
(fuente: elaboración propia).

Priorización del criterio A: Prioridad asignada por el jefe de ingeniería

Realizado por:	I.P.L.			**Planta:**	TecnoMetal S.A. de C.V.
Calificado por:	I.P.L.	**Aprobado por:**	J.I.V.S.	**Fecha:**	20/02/2025

Procesos por evaluar	
1.	Remachadora
2.	Lijadora
3.	Laminado

Escala de valoración	
1	Misma importancia.
5	Significativamente más importante
10	Mucho más importante
1/5	Significativamente menos importante
1/10	Mucho menos importante

	Remachadora	**Lijadora**	**Laminado**	**Total**	**Porcentaje**
Remachadora		1/10	1/5	1.3	5.53%
Lijadora	10		5	16	68.08%
Laminado	5	1/5		6.2	26.38%
Total	16	1.3	6.2	23.5	100%

7. **Elaboración de matriz de priorización.** Para realizar la matriz de priorización se realizó lo siguiente:
    a) Se colocó, en la Tabla 3.27, la importancia relativa de cada criterio (paso 4).
    b) Se concentraron, en la Tabla 3.27, las evaluaciones de cada proceso en función de cada criterio (paso 5 y 6).
    c) Se multiplicó la evaluación de cada proceso de la Tabla 3.27, en función de cada criterio, por la importancia relativa de ese criterio. El resultado se colocó en la intercepción del proceso y del criterio multiplicado (Tabla 3.28).
    d) Se sumaron los resultados de cada proceso en función de cada criterio y se registró el resultado en la columna "Total" de la Tabla 3.28.
    e) Se convirtieron los totales en porcentajes y se colocó en la columna "Porcentaje" de la Tabla 3.28.

Tabla 3.27. Registro de porcentajes por criterio y procesos. (fuente: elaboración propia).

Matriz de priorización final

Realizado por:	I.P.L.			**Planta:**	TecnoMetal S.A. de C.V.
Calificado por:	I.P.L.	**Aprobado por:**	J.I.V.S.	**Fecha:**	20/02/2025

Criterios			
A	Prioridad asignada por el jefe de ingeniería.	D	Tasa de salida por minuto limitada.
B.	Acumulación de inventario entre proceso.	E	Tiempo excesivo de preparación de maquinaria.
C	Tiempo de ciclo por lote.		

		Criterios				
		A	**B**	**C**	**D**	**E**
Procesos	**Remachadora**	0.0553	0.2595	0.3943	0.2147	0.2595
	Lijadora	0.6808	0.4765	0.2147	0.3943	0.4765
	Laminado	0.2638	0.2638	0.3908	0.3908	0.2638
	Imp. relativa	0.4854	0.2460	0.1667	0.0890	0.012

Tabla 3.28. Matriz de priorización final.
(fuente: elaboración propia).

Matriz de priorización final

Realizado por:	I.P.L.			**Planta:**	TecnoMetal S.A. de C.V.
Calificado por:	I.P.L.	**Aprobado por:**	J.I.V.S.	**Fecha:**	20/02/2025

Criterios			
A	Prioridad asignada por el jefe de ingeniería.	D	Tasa de salida por minuto limitada.
B.	Acumulación de inventario entre proceso.	E	Tiempo excesivo de preparación de maquinaria.
C	Tiempo de ciclo por lote.		

		Criterios						
		A	**B**	**C**	**D**	**E**	**Total**	**Porcentaje**
Procesos	**Remachadora**	0.026842	0.063837	0.065729	0.0191083	0.00311	0.17863	17.86%
	Lijadora	0.330460	0.117219	0.035790	0.0350927	0.00571	0.52428	52.43%
	Laminado	0.128048	0.0648948	0.065146	0.0347812	0.00316	0.29603	29.60%
	Imp. relativa	0.4854	0.246	0.1667	0.089	0.012	1	100.00%

Con base en los resultados de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, o btenidos mediante la aplicación de la matriz de priorización, **se determinó que el proceso**, de la línea de producción de machetes, con mayor oportunidad **de mejora es el lijado**, al presentar un 52.43%. Este resultado fue presentado al jefe de ingeniería, quien estuvo de acuerdo con la selección del proceso de lijado para su optimización.

Adicionalmente, a solicitud del jefe de ingeniería, se propuso implementar mejoras en el **área de prensado** debido a los elevados tiempos de preparación de máquina observados, aunque este proceso no fue evaluado dentro de la matriz de priorización.

3.6.2 Justificación de la elección del proceso seleccionado

Para complementar la matriz de priorización de la **¡Error! No se encuentra el origen de la r eferencia.**, se elaboró una justificación basada en los criterios previamente establecidos (Sección 3.6.1) y en el análisis del mapa del estado actual (Sección 3.5.7). A continuación, se presentan las conclusiones obtenidas:

- **Baja tasa de salida por minuto.** Comparado con los otros procesos evaluados: remachado y laminado; el lijado presenta una de las tasas de salida más bajas (5 piezas por minuto). Esta limitante impacta el flujo general de producción, generando un efecto acumulativo en la línea de producción.
- **Tiempo de ciclo elevado.** La lijadora tiene un tiempo de ciclo de 40 minutos, por lote de 200 machetes, lo que la convierte en uno de los procesos más lentos dentro del flujo productivo. Este factor genera restricciones operativas y contribuye a la formación de cuellos de botella.
- **Acumulación de inventario en el proceso**. Si bien el laminado y el remachado tienen inventarios acumulados más altos, la acumulación en el lijado no puede ser ignorada, ya que su baja velocidad de procesamiento afecta directamente la capacidad de respuesta de la línea.
- **Impacto en la eficiencia global de la línea.** Mejorar el lijado representa una oportunidad clave para aumentar la tasa de producción sin comprometer la calidad. Reducir su tiempo de ciclo y optimizar su capacidad de procesamiento permitiría mejorar su rendimiento disminuyendo sus tiempos muertos.

3.7 Determinar indicadores que afectan la productividad

Luego de describir en detalle la línea de producción de machetes (Sección 3.4.1), en colaboración con el jefe de ingeniería, se llevó a cabo un análisis de las áreas de oportunidad de la línea de producción de machetes mostradas en la **¡Error! No se encuentra el origen d e la referencia.**, para identificar indicadores que impactan directamente la productividad en la línea de machetes.

Con base en el criterio del jefe de ingeniería, se establecieron los siguientes indicadores clave que impactan la productividad y que están directamente alineados con el objetivo del proyecto: reducir las ineficiencias en la línea de producción.

- Espacio ocupado por elementos innecesarios.

  El análisis del espacio ocupado por elementos innecesarios se centra en identificar y cuantificar aquellos objetos, herramientas o materiales que no aportan valor al

proceso de producción. Este tipo de medición es esencial para optimizar el espacio de trabajo y mejorar la eficiencia operativa. Al reducir la cantidad de elementos innecesarios, se busca liberar área útil, facilitar el acceso a herramientas y materiales necesarios, y fomentar un entorno más organizado.

Esta problemática se abordará mediante la identificación, medición y eliminación de objetos que no aportan valor al proceso productivo.

- Tiempo de preparación de lijadoras.

  El tiempo de preparación de las lijadoras, que incluye actividades como el cambio de bandas para pulir el machete, ajuste de rodillos, limpieza de la máquina y búsqueda de herramientas adecuadas, genera tiempos de inactividad en cada turno dentro de la línea de producción de machetes. Esta situación ha provocado que el cambio de banda ocasione retrasos en la producción.

  Para abordar esta problemática, se decidió evaluar el indicador de tiempo de preparación de las lijadoras, en unidades de tiempo, tomando como referencia las actividades realizadas por el personal operativo durante el proceso de alistamiento.

- Tiempo de preparación de prensas.

  El tiempo de preparación de las prensas, que abarca actividades como el cambio, alineación y ajuste del troquel, la lubricación de guías y la búsqueda de herramientas adecuadas, genera tiempos de inactividad en cada turno dentro de la línea de producción de machetes. Esta situación ha provocado que el cambio de troquel se prolongue, ocasionando retrasos en la producción.

  Para abordar esta problemática, se decidió evaluar el indicador de tiempo de preparación de las prensas, en unidades de tiempo, tomando como referencia las actividades realizadas por el personal operativo durante el proceso de alistamiento.

3.8 Evaluar Indicadores

El proceso para evaluar los indicadores esenciales para asegurar un seguimiento preciso de los productos fabricados. Para logar su medición efectiva, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Medición del espacio ocupado por elementos innecesarios.

- Medición del tiempo de cambio de bandas para lijadoras.
- Medición del tiempo de cambio de troquel, de prensas.

3.8.1 Medición del espacio ocupado por elementos innecesarios

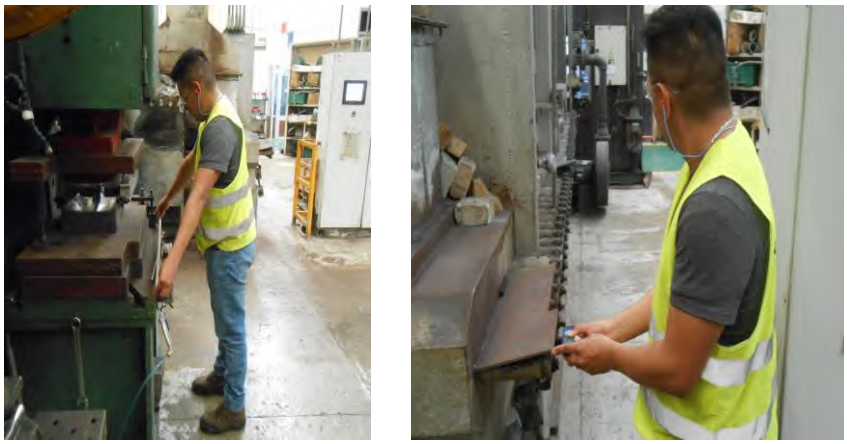
La medición del espacio ocupado por elementos innecesarios en la línea de producción de machetes se realizó a través de las siguientes actividades:

- Evaluación inicial del uso del espacio.
- Registro de observaciones.
- Interpretación de datos recopilados.
- Desarrollo de *Layout* actual de cada subárea.

3.8.1.1 Evaluación inicial del uso del espacio

La medición del espacio ocupado por elementos innecesarios, en la línea de producción de machetes, se llevó a cabo en las áreas del área piloto, descritas en la Sección 3.4.1, utilizando un flexómetro y un medidor láser, como se muestra en la Figura 3.10.

Durante la toma de mediciones, se identificó la presencia de equipos en áreas inadecuadas o fuera de su ubicación asignada. Asimismo, se evidenció la falta de zonas designadas para ciertos elementos (Figura 3.11), lo que restringe el aprovechamiento del espacio disponible.



(a) (b)

Figura 3.10. Toma de muestras. a) Con flexómetro. b) Con láser. (fuente: elaboración propia).

3.8.1.2 Registro de observaciones

Para consolidar la información recopilada en la Sección 3.8.1.1, se utilizó un formato de registro en el que se identificaron los objetos que no aportaban valor al proceso productivo, así como el material y la maquinaria presentes en las áreas de la línea de producción de machetes.

El formato de registro se llenó para las tres áreas de la línea de producción de machetes mostradas en la Sección 3.4.1. Para facilitar la medición las tres áreas se subdividieron en 12 subáreas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) lo que generó un total de 12 t ablas (Anexo 2).

Figura 3.11. Falta de zonas designadas para elementos. (fuente: elaboración propia).

Tabla 3.29. División de áreas en el proceso de producción. (fuente: elaboración propia).

Área	No.	Subárea
Área 1: Proceso inicial	1	Cortadora láser.
	2	Laminador.
	3	Prensas.
	4	Horno de temple.
	5	Horno revenido.
	6	Lijadora.
	7	Biseladora.
Área 2: Proceso de acabado	8	Bancos de madera.
	9	Lacado.

	10	Remachadora.
	11	Empaquetadora.
Área 3: Proceso de inyección de plástico	12	Inyección de plástico.

La Tabla 3.30 muestra un ejemplo de los registros del área 1: cortadora láser. En esta tabla los objetos innecesarios se muestran con la sigla OI, los materiales con MAT y maquinaria con MAQ.

3.8.1.3 Interpretación de datos recopilados

En esta sección, con base en las observaciones recopiladas en las 12 tablas (Sección 3.8.1.2 y Anexo 2), para facilitar la toma de decisiones en la optimización del espacio se realizó la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (para mostrar la superficie útil y no ú til) y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (para mostrar los objetos que aportan y no aportan valor al proceso productivo).

3.8.1.4 Desarrollo del *Layout* actual de cada subárea

En esta sección, con base en las mediciones de las subáreas, recopiladas en las 12 tablas (Sección 3.8.1.2 y Anexo 2), y para facilitar la toma de decisiones para la optimización del espacio, se desarrolló un *layout* de cada subárea, lo cual generó 12 *layout.* Cada *layout* se plasmó en un formato, el cual muestra el espacio ocupado por la maquinaria, material y objetos innecesarios. El formato de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** e s un ejemplo del *layout* de la subárea 1: cortadora láser. Los formatos de las 12 subáreas se ilustran en el Anexo 3.

Tabla 3.30. Registro de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 1: cortadora laser. (fuente: elaboración propia).

HOJA DE MAQUINARIA, MATERIAL Y OBJETOS INNECESARIOS			Nombre de la subárea: Cortadora laser															Área total (m²): 136.63
Elaboró: Israel Paredes Lino			Aprobó: José Iván Vázquez Solano								Hoja: 1 de 12							
Reviso: José Iván Vázquez Solano			Empresa: TecnoMetal S.A de C. V								Fecha: 11/03/25							
Datos de identificación			Espacio								Características físicas requeridas							
Número de identificación	Nombre de maquinaria, material u objetos innecesarios.	Abreviatura	Izquierda - derecha (m)	Frente – Posterior (m)	Área para maquinaria o equipo (m²)	Área para material (m²)	Área para espacio del operador (m²)	Área total de cada maquina o equipo (m²)	No. de máquinas / equipos	Área total neta (m²)	110 - AC	440 - AC	Agua	Vapor	Desagüe	Aire comprimido	Gas	Otro
1	Cortadora laser	MAQ	5.52	16.64	91.85	---	8.11	99.96	1	99.96	---	X	---	---	---	---	---	---
2	Caja con lona	OI	1.2	1.7	2.04	---	0	2.04	1	2.04	X	---	---	---	---	---	---	---
3	Cajones	OI	0.44	0.73	0.32	---	0	0.32	2	0.64	---	---	---	---	---	---	---	---
4	Botes de grasa	OI	0.35	0.35	0.12	---	0	0.12	2	0.25	---	---	---	---	---	---	---	---
5	Transformador	MAQ	1.34	1.75	2.35	---	0.87	3.22	1	3.22	---	---	---	---	---	---	---	---
6	Base para chatarra	MAT	0.9	2.2	1.98	---	2.2	4.18	1	4.18	---	---	---	---	---	---	---	---
7	Tambo para polvo	MAT	0.62	0.62	0.38	---	0	0.38	1	0.38	---	---	---	---	---	---	---	---
8	Mesas de control	MAT	0.8	1.5	1.20	---	0.75	1.95	1	1.95	---	---	---	---	---	---	---	---
9	Silla	MAT	0.5	0.55	0.28	---	0.25	0.53	1	0.53	---	---	---	---	---	---	---	---

Comentarios: El espacio de altura requerido no está incluido			Acciones de mejora	
	Área utilizada (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT + \sum OI)$	113.14		
	Área total útil (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT)$	110.22	a)	Colocar delimitación de máquinas y equipos.
	Área total no útil (m²): $(\sum OI)$	2.93	b)	Retirar equipos no útiles dentro del área.
	Área disponible (m²): (Área total – área utilizada)	23.49	c)	

Tabla 3.31. Distribución de superficie de subáreas de la línea de producción de machetes. (fuente: elaboración propia).

No.	Subárea	Área Total (1)	Área útil (2)	Área no útil (3)	Área Ocupada $(4 = 2 + 3)$	Área disponible $(1 - 4)$
1	Cortadora láser	136.63 m²	110.22 m²	2.93 m²	113.14 m²	23.49 m²
2	Laminador	82.73 m²	52.03 m²	7.3 m²	59.33 m²	23.4 m²
3	Prensas	60.85 m²	19.37 m²	5.4 m²	24.78 m²	36.07 m²
4	Horno de temple	75.57 m²	46.14 m²	2.78 m²	48.92 m²	26.65 m²
5	Horno revenido	89.36 m²	31.25 m²	19.02 m²	50.26 m²	39.10 m²
6	Lijadora	45.15 m²	30.42 m²	0.97 m²	31.39 m²	8.72 m²
7	Biseladora	40.62 m²	10.64 m²	4.00 m²	14.64 m²	25.98 m²
8	Bancos de madera	26.61 m²	4.88 m²	5.74 m²	10.62 m²	15.99 m²
9	Lacado	88.55 m²	77.19 m²	3.36 m²	80.55 m²	8.00 m²
10	Remachadora	42.86 m²	33.65 m²	3.13 m²	36.78 m²	6.08 m²
11	Empaquetadora	47.88 m²	14.54 m²	5.81 m²	20.35 m²	27.53 m²
12	Inyección de plásticos	98.9 m²	43.33 m²	10.47 m²	53.80 m²	45.10 m²

Tabla 3.32. Clasificación de objetos según su aporte al proceso productivo. (fuente: elaboración propia).

No.	Subárea	Área ocupada (1) = (2+3)	Área útil (2)	Objetos en el área útil	Área no útil (3)	Objetos que no aportan valor (en área no útil)
1	Cortadora láser	**113.14 m²**	**110.22 m²**	Cortadora láser, el transformador, la base de chatarra, el tambor para polvo, la mesa de control y una silla.	**2.93 m²**	Caja con lona, cajones y botes de grasa.
2	Laminador	**59.33 m²**	**52.03 m²**	Maquinaria, cajones de madera, cajones metálicos, mesa para enderezar y una rejilla protectora.	**7.3 m²**	Bolsas de trapos, galones, cubetas, grasera, base de mantenimiento, tarimas, burritos y carritos metálicos
3	Prensas	**24.78 m²**	**19.37 m²**	Prensas, cajones metálicos y un cajón para chatarra.	**5.4 m²**	Tarimas con reproceso y cubetas con grasa.
4	Horno de temple	**48.92 m²**	**46.14 m²**	Horno de temple y la lijadora.	**2.78 m²**	Bolsas de trapos, un cajón con chatarra, chucherías, ladrillos y otro cajón con chatarra.
5	Horno revenido	**50.26 m²**	**31.25 m²**	Horno de revenido y una charola para derrames.	**19.02 m²**	Carros con aceite, bandas transportadoras, un cajón de plásticos, áreas de Rotoplas, tarimas con reproceso, carritos y un cajón de madera
6	Lijadora	**31.39 m²**	**30.42 m²**	Máquinas lijadoras y mesas para machetes.	**0.97 m²**	Bolsas de basura y áreas de botas personales.
7	Biseladora	**14.64 m²**	**10.64 m²**	Maquinaria y los carritos para los machetes.	**4 m²**	Botes de basura, una base de chatarra y una base de alimentador de horno.
8	Bancos de madera	**10.62 m²**	**4.88 m²**	Bancos de madera, bancos para pruebas de machetes y carros para el material.	**5.74 m²**	Mesa de troqueles, una caja de motores, un cajón de pruebas y bolsas de carche (mango del machete).
9	Lacado	**80.55 m²**	**77.19 m²**	Tren de lacado.	**3.36 m²**	Tarima y galones.
10	Remachadora	**36.78 m²**	**33.65 m²**	Máquinas remachadoras y una transportadora de machetes.	**3.13 m²**	Bolsas de carche (mango del machete).
11	Empaquetadora	**20.35 m²**	**14.54 m²**	Mesa de empaque, máquina para flejadora, tarimas con producto terminado, rack para cajas, mesa para corte de bolsas y anaquel de etiquetas y bolsas.	**5.81 m²**	Tarimas con cajas, cajas para bolsas de machetes y bolsa de trapos.
12	Inyección de plásticos	**53.80 m²**	**43.33 m²**	Maquinaria para mangos de limas y machetes, dos mesas, máquina trituradora, recolector de máquina trituradora, cajón de mangos de lima, bote de basura, producto terminado, refrigeración para maquinaria y bolsa para alimentación para maquinaria.	**10.47 m²**	Cajones, cajones de plástico color verde, botes metálicos, botes de plástico, y tarimas con cartones.

Tabla 3.33. Layout de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 1: Cortadora láser. (fuente: elaboración propia).

LAYOUT DE MAQUINARIA, MATERIAL Y OBJETOS INNECESARIOS	Nombre de la subárea: Cortadora láser	Área total (m²): 136.63
Elaboró: Israel Paredes Lino	Aprobó: José Iván Vázquez Solano	Hoja: 1 de 12
Revisó: José Iván Vázquez Solano	Empresa: TecnoMetal S.A de C. V	Fecha: 20/03/25

Layout

Operación	Medida	Unidades
Izq. – Der.	7.88	m
Fre. – Pos.	17.34	m
Área total: $((Izq. - Der.) * (Fre. - Pos.))$	136.63	m²
Área utilizada: $(\sum MAQ + \sum MAT + \sum OI)$	113.14	m²
Área total útil: $(\sum MAQ + \sum MAT)$	110.22	m²
Área total no útil: $(\sum OI)$	2.93	m²
Área disponible: (Área total – Área utilizada)	23.49	m²

No.	Nombre	Abreviatura	Área
1	Cortadora laser	MAQ	99.96 m²
2	Caja con lona	OI	2.04 m²
3	Cajones	OI	0.32 m²
4	Botes de grasa	OI	0.12 m²
5	Transformador	MAQ	3.22 m²
6	Base para chatarra	MAT	4.18 m²
7	Tambo para polvo	MAT	0.38 m²
8	Mesas de control	MAT	1.95 m²
9	Silla	MAT	0.53 m²

Escala: 1 cuadrado = 1 m²

3.8.2 Medición del tiempo de cambio de bandas para lijadoras

La medición del tiempo de cambio de bandas, para lijadoras, se realizó mediante las siguientes actividades:

- Determinación de acciones durante el proceso de cambio de bandas, en lijadoras.
- Medición de tiempos preliminares.
- Cálculo de número de ciclos óptimos.
- Medición de tiempos de los ciclos faltantes.

3.8.2.1 Determinación de acciones durante el proceso de cambio de bandas, en lijadoras

Para analizar el proceso de cambio de bandas, en las lijadoras, se llevó a cabo una observación directa, registrando cada una de sus etapas con el objetivo de identificar posibles variaciones

entre ejecuciones. Durante este procedimiento, se observó que el operador realizaba las siguientes acciones:

- Ir por banda lijadora.
- Apagar la máquina.
- Aflojar tornillo de seguridad de manubrio de ajuste.
- Abrir puerta de acceso.
- Aflojar cabezal.
- Retirar banda usada.
- Inspección de banda usada.
- Limpiar caja (zona donde se aloja la banda).
- Meter banda lijadora.
- Colocar banda en su posición correcta.
- Ajustar banda.
- Calibrar banda (tensión y centrado).
- Cerrar puerta de acceso
- Realizar calibración para producción.
- Asegurar manubrio.

3.8.2.2 Medición de tiempos preliminares

El tiempo dedicado al cambio de bandas, en las lijadoras, fue registrado mediante el uso de un cronómetro, tomando como referencia las acciones específicas realizadas por el operador durante el proceso de cambio de bandas (Sección 3.8.2.1). Esta medición permitió documentar cada etapa del procedimiento, facilitando la identificación de posibles áreas de mejora.

Los resultados obtenidos, a lo largo de seis ciclos preliminares, ofrecieron una referencia inicial del tiempo invertido por cada acción durante el cambio de banda tarea. Éstos se presentan de forma detallada en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

3.8.2.3 Cálculo de número de ciclo óptimos

El número de ciclos se determinó utilizando el método estadístico mediante fórmula directa (Ecuación 3.9), explicado previamente en la Sección 2.5.

$$n = \left(\frac{40\sqrt{n'\sum x^2 - \sum(x)^2}}{\sum x}\right)^2 \quad \text{.....} \quad (3.9)$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra a calcular (número de observaciones).

n´= Número de observaciones del estudio preliminar.

Σ = Suma de valores.

x = Valor de las observaciones.

Tabla 3.34. Tiempos preliminares de cambio de banda para lijadora. (fuente: elaboración propia).

No.	Actividad	Ciclos (Tiempos en segundos)					
		1	2	3	4	5	6
1	Ir por banda lijadora.	20	20	5	7	10	11
2	Apagar la máquina.	5	5	6	7	10	9
3	Aflojar tornillo de seguridad de manubrio de ajuste.	15	10	5	14	30	28
4	Abrir puerta de acceso.	5	5	6	5	7	8
5	Aflojar cabezal.	10	40	20	35	19	18
6	Retirar banda usada.	10	10	15	16	20	21
7	Inspección de banda usada.	10	15	20	16	13	14
8	Limpiar caja (zona donde se aloja la banda).	20	22	28	25	22	23
9	Meter banda lijadora.	25	10	15	70	77	75
10	Colocar banda en su posición correcta.	10	10	8	15	13	14
11	Ajustar banda.	10	15	16	30	30	29
12	Calibrar banda (tensión y centrado).	10	10	35	25	30	32
13	Cerrar puerta de acceso.	10	3	5	7	6	7
14	Realizar calibración para productos.	180	180	190	282	182	180
15	Asegurar manubrio.	10	20	25	19	15	16
	Tiempo total (Segundos)	350	375	399	573	484	485
	Tiempo total (Minutos)	5.83	6.25	6.65	9.55	8.06	8.08

Para calcular el número de ciclos, se realizaron los siguientes pasos:

1. Se elaboró la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, con el objetivo d e obtener los valores $\sum x^2$ y $\sum(x)^2$.

2. Los valores obtenidos en la Tabla 3.35 fueron sustituidos en la Ecuación 3.9 cuyo resultado se presenta en la Ecuación 3.10:

$$n = \left(\frac{40\sqrt{(6)(338.73)-(44.42)^2}}{(44.42)}\right)^2 = 48.04 \approx 48\ Ciclos \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.10)$$

3. Se determinó que el número de ciclos necesarios para asegurar la validez estadística del análisis es 48, redondeando el valor calculado de 48.04 al número entero más cercano.

3.8.2.4 Medición de tiempos de los ciclos faltantes

Para completar el estudio de tiempo de cambio de bandas en las lijadoras, se aplicó la siguiente secuencia de actividades:

- Se registró cada observación desde el inicio del cambio de banda hasta el momento en que la lijadora estuvo lista para reanudar su operación.
- Se recolectó los ciclos faltantes, directamente cronometrados, utilizando los mismos criterios empleados en las mediciones preliminares (Sección 3.8.2.2), para asegurar la consistencia en los datos obtenidos.

Tabla 3.35. Cálculos para ciclos óptimos para lijadoras. (fuente: elaboración propia).

Ciclo	Tiempo total en minutos (X)	X²
1	5.83	33.99
2	6.25	39.06
3	6.65	44.22
4	9.55	91.20
5	8.06	64.96
6	8.08	65.29
	$\sum X = 44.42$	$\sum X^2 = 338.73$

- Se incorporó los tiempos registrados a los tiempos preliminares (**¡Error! No se e ncuentra el origen de la referencia.**).
- Se presentó los ciclos faltantes junto con sus respetivas duraciones en la Tabla 3.36.

- Se determinó, que el **tiempo promedio de cambio de banda es de 7.76 minutos,** determinado a partir de los datos de la Tabla 3.36.

3.8.3 Medición del tiempo de cambio de troquel, de prensas

La medición del tiempo de cambio del troquel, de prensas, se realizó mediante las siguientes actividades:

- Determinación de acciones durante el proceso de cambio de troquel, en prensas.
- Medición de tiempos preliminares.
- Cálculo de número de ciclos óptimos.
- Medición de tiempos de los ciclos faltantes.

3.8.3.1 Determinación de acciones durante el proceso de cambio de troquel, en presas

Para la determinación de las acciones realizadas durante el cambio de troquel, en las prensas, se ejecutaron las siguientes actividades:

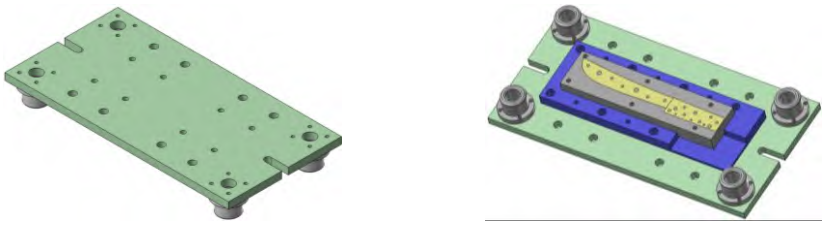
Tabla 3.36. Medición de tiempos de los ciclos faltantes, (fuente: elaboración propia).

No.	Actividad	Ciclos (Tiempo en segundos)										Tiempo promedio
		1	2	3	4	5	… …	45	46	47	48	
1	Ir por banda lijadora.	20	20	5	7	10	… …	13	16	10	13	11.72
2	Apagar la máquina.	5	5	6	7	10	… …	6	8	9	6	6.59
3	Aflojar tornillo de seguridad de manubrio de ajuste	15	10	5	14	30	… …	16	13	16	19	15.91
4	Abrir puerta de acceso.	5	5	6	5	7	… …	7	6	6	7	5.71
5	Aflojar cabezal.	10	40	20	35	19	… …	29	31	21	13	22.48
6	Retirar banda usada	10	10	15	16	20	… …	11	15	12	19	14.11
7	Inspección de banda usada	10	15	20	16	13	… …	16	14	14	12	13.83
8	Limpiar caja (zona donde se aloja la banda).	20	22	28	25	22	… …	22	22	23	23	21.90
9	Meter banda lijadora.	25	10	15	70	77	… …	49	16	24	69	56.53
10	Colocar banda en su posición correcta.	10	10	8	15	13	… …	10	13	13	12	10.96
11	Ajustar banda.	10	15	16	30	30	… …	24	26	21	27	19.78
12	Calibrar banda (tensión y centrado).	10	10	35	25	30	… …	22	17	12	25	21.54
13	Cerrar puerta de acceso	10	3	5	7	6	… …	7	7	4	5	6.03
14	Realizar calibración para producción.	180	180	190	282	182	… …	254	188	188	231	194.08
15	Asegurar manubrio.	10	20	25	19	15	… …	20	13	18	15	16.67
	Tiempo total (Segundos):	350	375	399	573	484	… …	506	405	391	496	437.86
	Tiempo total (Minutos):	5.83	6.25	6.65	9.55	8.07		8.43	6.75	6.52	8.27	7.30
	Tiempo promedio por turno:	7.76 min.										
	Tiempo aproximado mensual:	26 x 7.76 min. = 201.76 min ≈ 3.36 hrs.										

1. Conocer la estructura del troquel. El troquel está compuesto por dos partes:
   - Una móvil (Figura 3.12). La parte móvil está montada en el cabezal de la prensa.

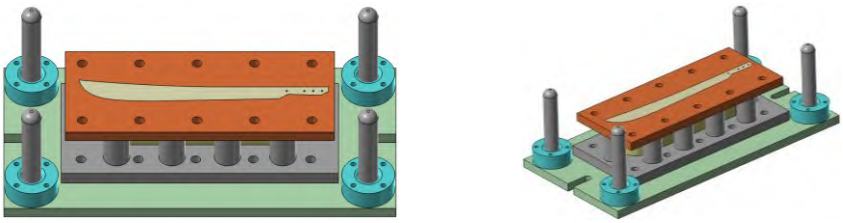
- Una fija (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). La parte fija se e ncuentra asegurada en la mesa de la prensa.

2. Realizar una observación detallada del proceso con el objetivo de identificar las acciones involucradas. Esta observación se realizó directamente en el área de trabajo, observando la interacción entre operarios, herramientas y equipos. Además, se prestó atención a factores como la secuencia de actividades, movimientos innecesarios y el uso de materiales auxiliares.
3. Elaborar un listado de las acciones necesarias para el cambio de un troquel. Este registro detalla cada paso del proceso, como se muestra a continuación:
   1) Recibir orden para cambio de troquel.
   2) Buscar la herramienta necesaria para el cambio de troquel.
   3) Llevar el elevador y la herramienta a la prensa para retirar el troquel.
   4) Subir el elevador al nivel del troquel móvil para su desmontaje.
   5) Desatornillar los dos tornillos frontales del troquel.



(a) *(b)*

Figura 3.12. Parte móvil del troquel. a) vista isométrica inferior. b) vista isométrica posterior.
(fuente: elaboración propia).



(a) *(b)*

Figura 3.13. Parte fija del troquel. a) vista superior/frontal. b) vista isométrica inversa.
(fuente: elaboración propia).

   6) Ajustar el elevador al troquel.
   7) Recorrer a la parte posterior de la prensa para desatornillar la tornillería.

8) Desatornillar los dos tornillos posteriores del troquel.
9) Bajar el elevador con el troquel hasta retirarlo de la mesa.
10) Descender el elevador hasta el nivel del suelo con el troquel.
11) Llevar el troquel al área de maquinados para mantenimiento y colocarlo en el lugar asignado.
12) Ir por el troquel fijo.
13) Colocar el elevador al nivel de la mesa de la prensa.
14) Desatornillar y retirar los dos tornillos que sujetan el troquel.
15) Empujar el troquel hasta colocarlo en el elevador.
16) Bajar el elevador con el troquel hasta el nivel del suelo.
17) Llevar troquel usado al área de maquinados para su mantenimiento.
18) Colocar el elevador a la altura del *rack* donde se encuentra el troquel a instalar.
19) Llevar el troquel a la prensa.
20) Elevar el troquel hasta la base de la prensa.
21) Empujar hasta colocarlo en la mesa.
22) Retirar el elevador.
23) Configurar la máquina en modo semiautomático.
24) Calibrar la altura de la máquina.
25) Alinear la base de la biela al ras del troquel móvil para su fijación.
26) Colocar los cuatro tornillos sin apretarlos completamente.
27) Fijar el troquel fijo a la mesa de la prensa.
28) Realizar un ciclo automático de la prensa.
29) Ajustar la máquina y apretar los seis tornillos con ayuda de una palanca.
30) Tomar una hoja de papel para calibrar el corte del troquel.
31) Aflojar un tornillo para realizar el ajuste necesario.
32) Realizar pruebas de corte con la lámina.

3.8.3.2 Medición de tiempos preliminares

El tiempo dedicado al cambio de troqueles fue registrado mediante el uso de un cronómetro, tomando como referencia las acciones específicas realizadas por el operador durante el proceso (Sección 3.8.3.1). Esta medición permitió documentar cada etapa del procedimiento, facilitando la identificación de posibles áreas de mejora.

Los resultados obtenidos a lo largo de seis ciclos preliminares ofrecieron una referencia inicial del tiempo invertido en esta tarea. Éstos se presentan en la Tabla 3.37.

Tabla 3.37. Tiempos preliminares de cambio de troquel. (fuente: elaboración propia).

No.	Actividad	Ciclos (Tiempo en Segundos)					
		1	2	3	4	5	6
1	Recibir orden para cambio de troquel.	20	18	15	25	23	18
2	Buscar la herramienta necesaria para el cambio de troquel.	27	31	31	28	32	28
3	Levar el elevador y la herramienta a la prensa para retirar el troquel.	98	98	90	88	90	92
4	Subir el elevador al nivel del troquel móvil para su desmontaje.	61	55	54	64	60	54
5	Desatornillar los dos tornillos frontales del troquel móvil.	128	118	112	120	115	112
6	Ajustar el elevador al troquel móvil.	27	28	30	29	31	28
7	Recorrer a la parte posterior de la prensa para desatornillar la tornillería.	10	12	11	9	10	12
8	Desatornillar los dos tornillos posteriores del troquel móvil.	215	229	222	215	213	211
9	Bajar el elevador con el troquel móvil hasta retirarlo de la mesa.	15	16	14	13	14	13
10	Descender el elevador hasta el nivel del suelo con el troquel móvil.	107	114	111	107	106	105
11	Llevar el troquel móvil al área de maquinados para mantenimiento y colocarlo en el lugar asignado.	236	230	234	269	223	225
12	Ir por el troquel fijo.	161	171	166	161	160	158
13	Colocar el elevador al nivel de la mesa de la prensa.	98	96	92	90	90	92
14	Desatornillar y retirar los dos tornillos que sujetan el troquel fijo.	161	171	166	161	160	158
15	Empujar el troquel fijo hasta colocarlo en el elevador.	107	114	111	107	106	105
16	Bajar el elevador con el troquel fijo hasta el nivel del suelo.	40	45	44	42	43	41
17	Llevar troquel fijo usado al área de maquinados para su mantenimiento.	251	240	231	228	216	220
18	Colocar el elevador a la altura del rack donde se encuentra el troquel a instalar.	107	114	111	107	106	105
19	Levar el troquel a la prensa.	215	229	222	215	213	211
20	Elevar el troquel hasta la base de la prensa.	161	171	166	161	160	158
21	Empujar hasta colocarlo en la mesa.	107	114	111	107	106	105
22	Retirar el elevador.	40	42	36	331	32	38
23	Configurar la máquina en modo semiautomático.	10	9	9	10	11	12
24	Calibrar la altura de la máquina.	45	48	35	42	48	43
25	Alinear la base de la biela al ras del troquel móvil para su fijación.	161	171	166	161	160	158
26	Colocar los cuatro tornillos sin apretarlos completamente.	215	229	222	215	213	211
27	Fijar el troquel fijo a la mesa de la prensa.	161	171	166	161	160	158
28	Realizar un ciclo automático.	107	114	111	107	106	105
29	Ajustar la máquina y apretar los seis tornillos con ayuda de una palanca.	269	286	277	269	267	264
30	Tomar una hoja de papel para calibrar el corte del troquel.	53	57	55	53	53	52
31	Aflojar un tornillo para realizar el ajuste necesario.	107	114	111	107	106	105
32	Realizar pruebas de corte con la lámina.	322	343	333	323	320	317
	Tiempo total (Segundos):	3842	3998	3865	4125	3753	3714
	Tiempo total (Minutos):	64.03	66.63	64.42	68.75	62.55	61.90
	Tiempo promedio por turno:	64.71 min.					
	Tiempo aproximado mensual:	26 x 64.71 min. = 1682.46 min ≈ 28.04 hrs.					

3.8.3.3 Cálculo de números de ciclos óptimos

El número de ciclos se determinó utilizando el método estadístico mediante fórmula directa (Ecuación 3.11), explicado previamente en la Sección 2.5.

$$n = \left(\frac{40\sqrt{n'\sum x^2 - \sum(x)^2}}{\sum x}\right)^2 \quad \text{.....} \quad (3.11)$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra a calcular (número de observaciones).

n´= Número de observaciones del estudio preliminar.

Σ = Suma de valores.

x = Valor de las observaciones.

Para calcular el número de ciclos, se realizaron los siguientes pasos:

1. Se determinaron los valores $\sum x^2$ y $\sum(x)^2$ mediante el desarrollo de la Tabla 3.38.
2. Se calculó el tamaño de la muestra sustituyendo los valores de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** en la Ecuación 3.10: el resultado se presenta en la Ecuación 3.12:

$$n = \left(\frac{40\sqrt{(6)(25160.01) - (388.28)^2}}{(388.28)}\right)^2 = 2.10 \approx 2\ Ciclos \text{.....} \quad (3.12)$$

Tabla 3.38. Cálculos para ciclos óptimos para prensas. (fuente: elaboración propia).

Ciclo	Tiempo total en minutos (X)	X²
1	64.03	4099.84
2	66.63	4439.56
3	64.42	4149.94
4	68.75	4726.56
5	62.55	3912.50
6	61.90	3831.61
	$\sum X = 388.28$	$\sum X^2 = 25160.01$
	$\overline{X} = 64.71$	

3. Se determinó que el número de ciclos necesarios para asegurar la validez estadística del análisis es 2, el cual se obtuvo redondeando el valor calculado al número entero más cercano.

3.8.3.4 Medición de tiempos de los ciclos faltantes

Dado que el número óptimo de ciclos es igual a 2 (Sección 3.8.3.3), no fue necesario realizar mediciones adicionales.

Por lo tanto, se utilizaron los datos obtenidos en la Sección 3.8.3.2 a partir de los cuales se determinó que el **tiempo promedio de cambio de troquel de prensas es de 64.71 minutos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. **o** ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).**

3.9 Identificar causas raíz de los indicadores

En el marco de la mejora continua de la línea de machetes, esta sección se centra en el análisis de las causas raíz que impactan los indicadores descritos en la Sección 3.8, los cuales afectan la productividad y eficiencia de la línea de machetes. Este análisis permitirá identificar áreas críticas que requieren atención, con el fin de enfocar los recursos y el tiempo de manera eficiente para garantizar una mayor productividad y reducir los costos. En este contexto, se abordarán los siguientes aspectos clave para comprender mejor los indicadores y sus causas:

- Identificar causas raíz del indicador *"espacio ocupado por elementos innecesarios"*.
- Identificar causas raíz del indicador *"tiempo de preparación de lijadoras"*.
- Identificar causas raíz del indicador *"tiempo de preparación de prensas"*.

3.9.1 Identificar causas raíz del indicador "*espacio ocupado por elementos innecesarios*"

Para identificar causas raíz para el indicador ***"espacio ocupado por elementos innecesarios"***, se realizó un diagrama de *Ishikawa* mediante los siguientes pasos, los cuales utilizan el procedimiento descrito en la Sección 2.3.4.2:

1. Se definió de manera clara el indicador que se quiere resolver mediante las siguientes actividades:
    - Se estableció, en conjunto con el jefe de ingeniería, que el indicador a analizar sería el denominado "***espacio ocupado por elementos innecesarios***", con el objetivo de identificar sus causas raíz.
    - Se representó el indicador en un recuadro; éste se ubicó en el extremo derecho del diagrama (Figura 3.14).
2. Se dibujó la espina dorsal del diagrama trazando una flecha que partió del lado izquierdo y se dirigió hacia el recuadro del indicador (Figura 3.14).
3. Se definieron los factores más relevantes a través de las siguientes actividades:
    - Se establecieron los factores correspondientes a las 6 M´s (Sección 2.3.4.1) como guía para la identificación de causas potenciales.
    - Se ubicaron los factores en los extremos superior e inferior de la espina dorsal, conectándolos mediante flechas; éstas actuaron como las espinas primarias del diagrama (Figura 3.14).
4. Se determinaron las causas subyacentes de cada factor mediante las siguientes actividades:
    - Se analizaron los factores de manera estructurada (mano de obra, método, maquinaria, materia prima, medio ambiente, medición) y se generaron varias causas específicas, en cada factor, asociadas al indicador identificado.

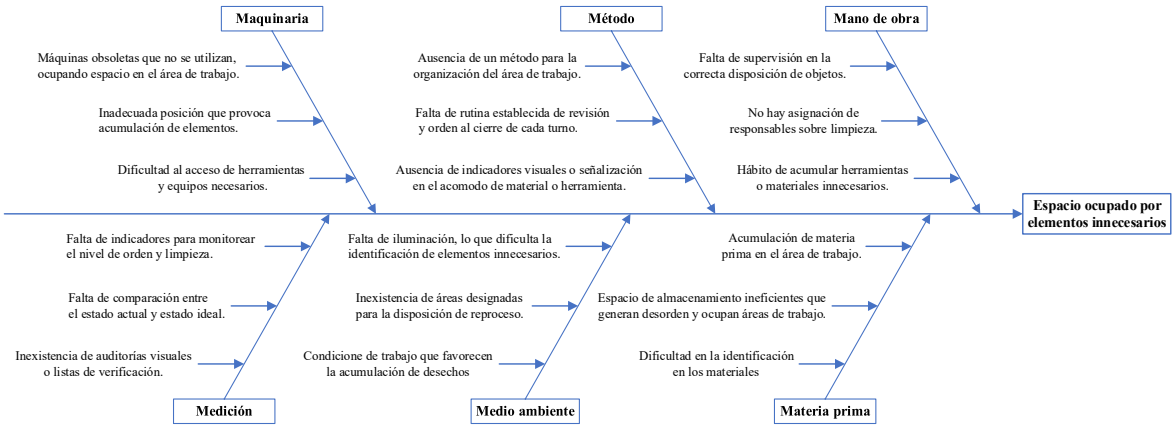


Figura 3.14. Diagrama de Ishikawa para el indicador "espacio ocupado por elementos innecesarios".
(fuente: elaboración propia).

- Se ubicó cada causa específica a lo largo de las flechas que parten de cada factor hacia la espina dorsal del diagrama. Cada causa se conectó mediante líneas para reflejar la manera en que afecta al respectivo factor, tal como se ilustra en la Figura 3.14.

5. Se verificó la exhaustividad del análisis mediante las siguientes actividades:
    - Se evaluó si todas las causas relevantes fueron identificadas, mediante una plática con el jefe de Ingeniería, con el fin de validar cada causa asociada a los distintos factores y contrastar posibles omisiones.
    - Se confirmó qué, aunque pudieran existir otras causas, éstas se encuentran implícitamente dentro de las descritas en el paso 4.

3.9.2 Identificar causas raíz del indicador *"tiempo de preparación de lijadoras"*

Para identificar causas raíz para el indicador ***"tiempo de preparación de lijadoras"***, se realizó un diagrama de *Ishikawa* mediante los siguientes pasos, los cuales utilizan el procedimiento descrito en la Sección 2.3.4.2:

1. Se definió de manera clara el indicador que se quiere resolver mediante las siguientes actividades:
    - Se estableció, en conjunto con el jefe de ingeniería, que el indicador a analizar sería el denominado "***tiempo de preparación de lijadoras***", con el objetivo de identificar sus causas raíz.
    - Se representó el indicador en un recuadro; éste se ubicó en el extremo derecho del diagrama (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).
2. Se dibujó la espina dorsal del diagrama trazando una flecha, que partió del lado izquierdo y se dirigió hacia el recuadro del indicador (**¡Error! No se encuentra el o rigen de la referencia.**).
3. Se definieron los factores más relevantes a través de las siguientes actividades:
    - Se establecieron los factores correspondientes a las 6 M´s (Sección 2.3.4.1) como guía para la identificación de causas potenciales.

- Se ubicaron los factores en los extremos superior e inferior de la espina dorsal, conectándolos mediante flechas; éstas actuaron como las espinas primarias del diagrama (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Figura 3.15. Diagrama de Ishikawa para el indicador "tiempo de preparación de lijadoras".
(fuente: elaboración propia).

4. Se determinaron las causas subyacentes de cada factor mediante las siguientes actividades:
    - Se analizaron los factores de manera estructurada (mano de obra, método, maquinaria, materia prima, medio ambiente, medición) y se generaron varias causas específicas, en cada factor, asociadas al indicador identificado.
    - Se ubicó cada causa específica a lo largo de las flechas que parten de cada factor hacia la espina dorsal del diagrama. Cada causa se conectó mediante líneas para reflejar la manera en que afecta al respectivo factor, tal como se ilustra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.
5. Se verificó la exhaustividad del análisis mediante las siguientes actividades:
    - Se evaluó si todas las causas relevantes fueron identificadas, mediante una plática con el jefe de Ingeniería, con el fin de validar cada causa asociada a los distintos factores y contrastar posibles omisiones.
    - Se confirmó qué, aunque pudieran existir otras causas, éstas se encuentran implícitamente dentro de las descritas en el paso 4.

3.9.3 Identificar causas raíz del indicador "tiempo de preparación de prensas"

Para identificar causas raíz para el indicador ***""tiempo de preparación de prensas"***, se realizó un diagrama de *Ishikawa* mediante los siguientes pasos los cuales utilizan el procedimiento descrito en la Sección 2.3.4.2:

1. Se definió de manera clara el indicador que se quiere resolver mediante las siguientes actividades:
    - Se estableció, en conjunto con el jefe de ingeniería, que el indicador a analizar sería el denominado "***tiempo de preparación de prensas***", con el objetivo de identificar sus causas raíz.
    - Se representó el indicador en un recuadro; éste se ubicó en el extremo derecho del diagrama (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).
2. Se dibujó la espina dorsal del diagrama trazando una flecha, que partió del lado izquierdo y se dirigió hacia el recuadro del indicador (**¡Error! No se encuentra el o rigen de la referencia.**).
3. Se definieron los factores más relevantes a través de las siguientes actividades:
    - Se establecieron los factores correspondientes a las 6 M´s (Sección 2.3.4.1) como guía para la identificación de causas potenciales.
    - Se ubicaron los factores en los extremos superior e inferior de la espina dorsal, conectándolos mediante flechas; éstas actuaron como las espinas primarias del diagrama (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).
4. Se determinaron las causas subyacentes de cada factor mediante las siguientes actividades:
    - Se analizaron los factores de manera estructurada (mano de obra, método, maquinaria, materia prima, medio ambiente, medición) y se generaron varias causas específicas, en cada factor, asociadas al indicador identificado.

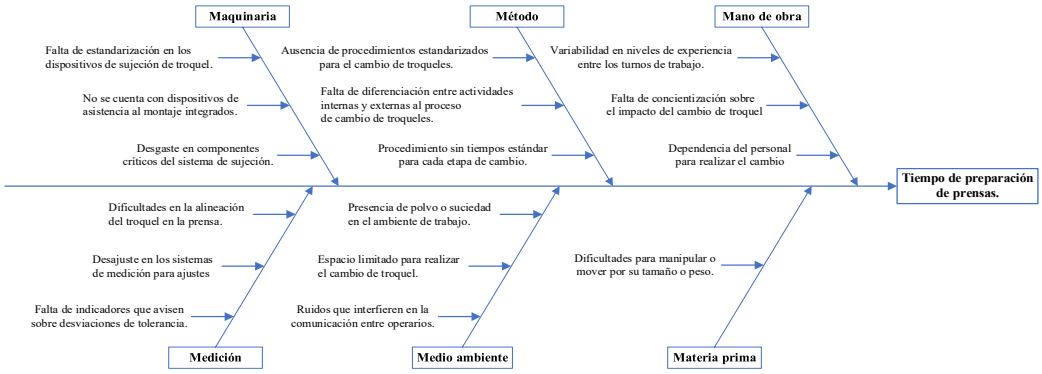


Figura 3.16. Diagrama de Ishikawa para el indicador "tiempo de preparación de prensas".
(fuente: elaboración propia).

- Se ubicó cada causa específica a lo largo de las flechas que parten de cada factor hacia la espina dorsal del diagrama. Cada causa se conectó mediante líneas para reflejar la manera en que afecta al respectivo factor, tal como se ilustra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

5. Se verificó la exhaustividad del análisis mediante las siguientes actividades:
    - Se evaluó si todas las causas relevantes fueron identificadas, mediante una plática con el jefe de Ingeniería, con el fin de validar cada causa asociada a los distintos factores y contrastar posibles omisiones.
    - Se confirmó qué, aunque pudieran existir otras causas, éstas se encuentran implícitamente dentro de las descritas en el paso 4.

3.10 Seleccionar técnicas de *Lean Manufacturing* para mejorar indicadores

En esta sección se describe el proceso para la selección de técnicas de *Lean Manufacturing,* factibles de aplicar, con el propósito de abordar las causas, mencionados en la Sección 3.9, que afectan los indicadores de productividad (Sección 3.7) Este enfoque se implementó a través de las siguientes actividades:

- Agrupación de causas de las 6 M´s a través de un diagrama de afinidad.
- Elaboración de diagrama relacional y clasificación de causas claves y secundarias.
- Integración de propuestas de solución y de técnicas de *Lean Manufacturing* factibles de aplicar.

- Determinación del orden de implementación de técnicas de *Lean Manufacturing.*

3.10.1 Agrupación de causas de las 6 M´s a través de un diagrama de afinidad

Para identificar técnicas factibles de aplicar para eliminar o minimizar las causas identificadas de cada una de las 6 M's, en la Sección 3.9, para los distintos indicadores (Sección 3.7), se empleó un diagrama de afinidad, realizando las siguientes actividades:

- Se recopilaron todas las causas identificadas, a partir de los diagramas de Ishikawa elaborados (Sección 3.9.1 a Sección 3.9.3), para cada una de las 6 M´s (Sección 2.3.4.1).
- Se agruparon las causas en grupos, considerando la relación entre ellas. En las causas repetidas o con elementos en común, dentro de cada una de las 6 M´s, sólo se consideró una causa. El resultado se muestra de la Tabla 3.39 a la Tabla 3.44.
- Se revisaron los grupos generados para garantizar la coherencia interna de cada uno y asegurar una adecuada representación de las causas agrupadas.

*Tabla 3.39. Diagrama de afinidad de causas para el factor "**mano de obra**". (fuente: elaboración propia).*

	Grupos en el factor "mano de obra"				
	Falta de supervisión y asignación de responsabilidades	**Actitudes hacia el trabajo**	**Concientización del impacto**	**Dependencia del personal**	**Prácticas organizacionales**
Causas	Falta de supervisión y asignación de responsabilidades. No hay asignación de responsables sobre limpieza.	Hábito de acumular herramientas o materiales innecesarios. Poca atención o actitud relajada hacia el cambio.	Falta de concientización sobre el impacto del cambio de troquel.	Dependencia del personal para realizar el cambio.	Poca práctica o experiencia en el cambio de bandas. Variabilidad en niveles de experiencia entre los turnos de trabajo.

*Tabla 3.40. Diagrama de afinidad de causas para el factor "**método**". (fuente: elaboración propia).*

	Grupos en el factor "método"				
	Falta de estandarización y control	**Definición de actividades y tareas**	**Herramientas y recursos visuales**	**Coordinación entre operarios**	**Falta de planificación**
Causas	Ausencia de un método para la organización del área de trabajo. Procedimiento no estandarizado. Ausencia de procedimientos estandarizados para el cambio de troqueles. Procedimiento sin tiempos estándar para cada etapa de cambio.	Falta de rutina establecida de revisión y orden al cierre de cada turno. Falta de diferenciación entre actividades internas y externas al proceso de cambio de troqueles.	Ausencia de indicadores visuales o señalización en el acomodo de material o herramienta. Tareas internas que podrían hacerse externamente.	Tiempos muertos por falta de coordinación entre operarios.	No se mide el impacto económico de los tiempos de cambio.

*Tabla 3.41. Diagrama de afinidad para el factor "**maquinaria**". (fuente: elaboración propia).*

	Grupos en el factor "maquinaria"				
	Obsolescencia y falta de modernización	**Mantenimiento y condiciones físicas inadecuadas**	**Desgaste de componentes**	**Espacio y organización en el área**	**Acceso y movilidad de equipos**
Causas	Máquinas obsoletas que no se utilizan, ocupando espacio en el área de trabajo. Sistema de sujeción de la banda anticuado o lento. Ausencia de mecanismo de cambio rápido. No se cuenta con dispositivos de asistencia al montaje integrados.	Inadecuada posición que provoca acumulación de elementos. Dificultad al acceso de herramientas y equipos necesarios.	Falta de mantenimiento preventivo en la máquina. Falta de estandarización en los dispositivos de sujeción de troquel. Desgaste en componentes críticos del sistema de sujeción.	Máquinas obsoletas que no se utilizan, ocupando espacio en el área de trabajo. Espacio limitado para realizar el cambio de troquel.	Ubicación alejada de herramientas o materiales necesarios. Dificultad para manipular o mover materiales o componentes debido a su peso o dimensiones.

*Tabla 3.42. Diagrama de afinidad para el factor "**medio ambiente**".*
(fuente: elaboración propia).

	Grupos en el factor "medio ambiente"	
	Condiciones físicas desfavorables	**Distribución inadecuada del espacio de trabajo**
Causas	Falta de iluminación, lo que dificulta la identificación de elementos innecesarios. Temperaturas extremas. Falta de ventilación adecuada. Presencia de polvo o suciedad en el ambiente de trabajo. Ruidos que interfieren en la comunicación entre operarios.	Inexistencia de áreas designadas para la disposición de reproceso. Condiciones de trabajo que favorecen la acumulación de desechos. Espacio limitado para realizar el cambio de troquel.

*Tabla 3.43. Diagrama de afinidad para el factor "**materia prima**".*
(fuente: elaboración propia).

	Grupos en el factor "materia prima"	
	Organización del área de trabajo	**Acceso a recursos y materiales**
Causas	Acumulación de materia prima en el área de trabajo. Espacio de almacenamiento ineficiente que genera desorden y ocupa áreas de trabajo.	Falta de un lugar designado para bandas en el área de trabajo. .

*Tabla 3.44. Diagrama de afinidad para el factor "**medición**".*
(fuente: elaboración propia).

	Grupos en el factor "medición"		
	Falta de indicadores y control operativo	**Deficiencias en la medición del impacto**	**Sistema de verificación y ajustes inadecuado**
Causas	Falta de indicadores para monitorear el nivel de orden y limpieza. No se mide la frecuencia con la que se cambia la banda. No se registra el tiempo real de cambio de banda.	No se mide el impacto económico de los tiempos de cambio.	Falta de comparación entre el estado actual y estado ideal. Inexistencia de auditorías visuales o listas de verificación. Dificultades en la alineación del troquel en la prensa. Desajuste en los sistemas de medición para ajustes. Falta de indicadores que avisen sobre desviaciones de tolerancia.

3.10.2 Elaboración de diagrama relacional y clasificación de causas claves y secundarias

Después de agrupar las causas (Sección 3.10.1), correspondientes a cada una de las 6 M´s, que influyen en la productividad, se elaboró un diagrama relacional (Figura 3.17) con el

objetivo de identificar como los grupos afectan a cada uno de los indicadores descritos en la Sección 3.7.

En la Figura 3.17, se observó que diferentes grupos tienen un impacto directo sobre más de un indicador, en consecuencia, se desarrolló lo siguiente:

1. Se analizó cada grupo de la Figura 3.17 y se determinó a que indicador afectaba y el número de indicadores afectados. El resultado ser colocó en la Tabla 3.45.

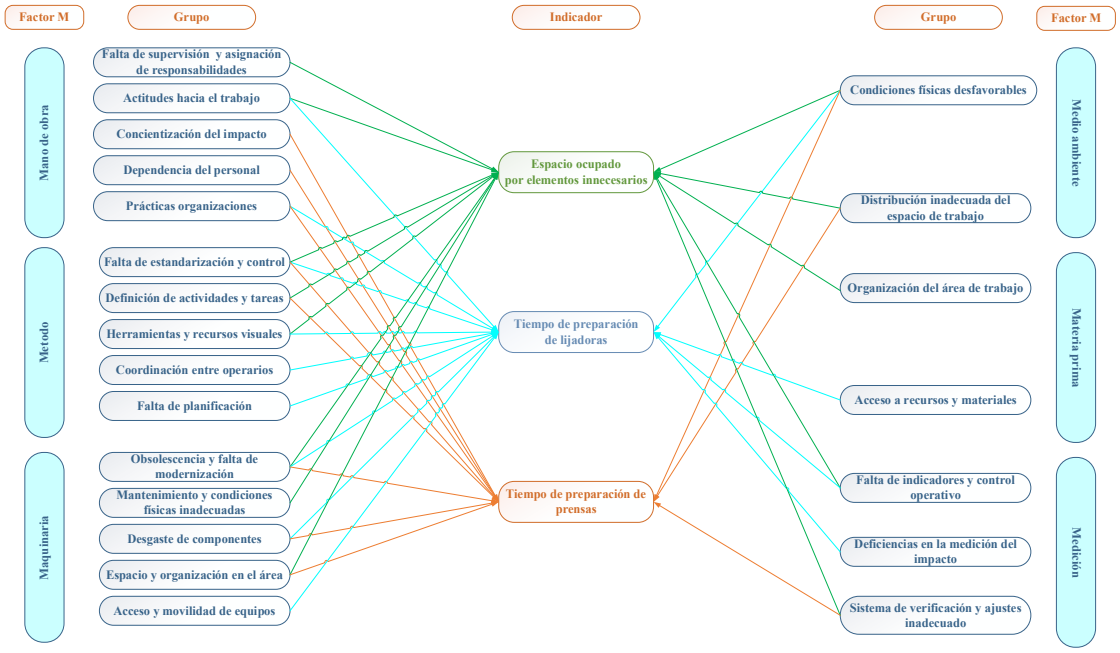


Figura 3.17. Diagrama relacional.
(fuente: elaboración propia).

Tabla 3.45. Grupos que afectan a los indicadores.
(fuente: elaboración propia).

Grupo	Indicador			Indicadores afectados	Causas
	Espacio ocupado por elementos innecesarios.	Tiempo de preparación de lijadoras	Tiempo de preparación de prensas.		
Falta de estandarización y control	x	x	x	3	Clave
Obsolescencia y falta de modernización	x	x	x	3	Clave
Condiciones físicas desfavorables	x	x	x	3	Clave
Actitudes hacia el trabajo	x	x		2	Secundarias
Prácticas organizaciones		x	x	2	Secundarias
Definición de actividades y tareas	x		x	2	Secundarias
Herramientas y recursos visuales	x	x		2	Secundarias
Desgaste de componentes		x	x	2	Secundarias
Espacio y organización en el área	x		x	2	Secundarias
Distribución inadecuada del espacio de trabajo	x		x	2	Secundarias
Falta de indicadores y control operativo	x	x		2	Secundarias
Falta de supervisión y asignación de responsabilidades	x			1	Irrelevantes
Concientización del impacto			x	1	Irrelevantes
Dependencia del personal			x	1	Irrelevantes
Coordinación entre operarios	x			1	Irrelevantes
Falta de planificación	x			1	Irrelevantes
Mantenimiento y condiciones físicas inadecuadas		x		1	Irrelevantes
Acceso y movilidad de equipos		x		1	Irrelevantes
Organización del área de trabajo	x			1	Irrelevantes
Acceso a recursos y materiales		x		1	Irrelevantes
Deficiencias en la medición del impacto		x		1	Irrelevantes
Sistema de verificación y ajustes inadecuado		x	x	1	Irrelevantes

2. Se determinaron causas clave, secundarias e irrelevantes, con base en los siguientes criterios; el resultado se colocó igualmente en la Tabla 3.45:

    a. Causas clave aquellas que influyen en los tres indicadores.
    b. Causas secundarias, los que afectan a dos indicadores
    c. Causas irrelevantes, aquellos que inciden únicamente en un indicador.

3.10.3 Integración de propuestas de solución y de técnicas de *Lean Manufacturing* factibles de aplicar

Para la selección de las técnicas de *Lean Manufacturing,* factibles de implementar, orientadas a la solución de las causas raíz (Sección 3.9) identificadas mediante los diagramas de Ishikawa (Sección 3.9.1 a Sección 3.9.3) asociadas a los indicadores (Sección 3.7) se realizó lo siguiente:

- Se determinó, con base en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, q ue los grupos clasificados como causas clave y secundarias serían consideradas para su solución y, por consiguiente, como base para la selección de las técnicas a implementar.

- Se integraron propuestas de solución, y se propusieron técnicas de *Lean Manufacturing,* factibles de implementar para eliminar las **causas claves**. Estas propuestas se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.
- Se integraron propuestas de solución, y se propusieron técnicas de *Lean Manufacturing,* factibles de implementar para eliminar **causas secundarias**. Estas propuestas se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** .

Tabla 3.46. Técnicas de mejora para solución a causas clave. (fuente: elaboración propia).

Causas clave	Propuesta de solución	Técnica *Lean Manufacturing*
Falta de estandarización y control	Establecer tiempos estándar. Reclasificar tareas para hacerlas externas. Implementar etiquetas o marcajes en el piso	5´S SMED *Kaizen*
Obsolescencia y falta de modernización	Utilizar sistemas de cambio rápido. Estandarizar dispositivos. Distribución del área.	SMED *LayOut* 5´S
Condiciones físicas favorables	Instalar luminarias. Reordenar zonas de trabajo. Aumentar frecuencia de limpieza.	5´S

Tabla 3.47. Técnicas de mejora para solución a causas secundarias. (fuente: elaboración propia).

Causas secundarias	Propuesta de solución	Técnica *Lean Manufacturing*
Actitudes hacia el trabajo	Realizar sesiones de capacitación. Implementar incentivos. Promover la participación de los operarios.	*Kaizen*
Practicas organizacionales	Estandarizar los procedimientos y capacitar al personal. Asignación de responsables para cada tarea.	*Just in time* 5´S
Definición de actividades y tareas	Documentar las tareas para cada proceso. Usar listas de verificación. Implementar auditorias periódicas para garantizar la correcta ejecución de tareas.	*Poka Yoke* 5´S
Herramientas y recursos visuales	Utilizar señalizaciones visuales. Crear mapas visuales en las áreas de trabajo.	*Andon* 5´S
Desgaste de componentes	Establecer un programa de mantenimiento preventivo. Utilizar un sistema de monitoreo para alertar algún fallo.	TPM *Jidoka*
Espacio y organización en el área	Mejorar la accesibilidad de herramientas y materiales. Garantizar que cada herramienta tenga un lugar designado. Implementar un almacenamiento que minimice el desorden.	SMED 5´s
Distribución inadecuada del espacio del trabajo	Definir zonas para cada etapa o tipo de operación. Implementar señalización visual. Usar adaptaciones para cambios de operación.	5´s SMED
Falta de indicadores y control operativo	Establecer KPIs claros y medibles. Crear formatos estandarizados de registro y análisis. Programar auditorias.	*Andon* *Poka Yoke* SMED 5´s

3.10.4 Determinación del orden de implementación de técnicas de *Lean Manufacturing*

Para determinar el orden de implementación de técnicas de *Lean Manufacturing,* se realizaron las siguientes actividades:

- Se determinó la **frecuencia**, **peso relativo, frecuencia acumulada** y peso relativo acumulado, de las técnicas propuestas con base las causas clave y secundarias, presentadas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra el resultado.

Tabla 3.48. Priorización de técnicas Lean Manufacturing según su peso relativo y frecuencia.
(fuente: elaboración propia).

Técnica	Frecuencia	Peso Relativo	Frecuencia Acumulada	Peso relativo Acumulado
5S	9	37.50%	9	37.50%
SMED	5	20.83%	14	58.33%
Kaizen	2	8.33%	16	66.67%
Poka Yoke	2	8.33%	18	75.00%
Andon	2	8.33%	20	83.33%
Layout	1	4.17%	21	87.50%
Just in time	1	4.17%	22	91.67%
TPM	1	4.17%	23	95.83%
Jidoka	1	4.17%	24	100.00%

- Se analizaron las técnicas propuestas con base en su **frecuencia y peso relativo.** Con este se determinó que dos técnicas tienen peso relativo arriba del 20% y 7 técnicas tienen peso relativo no mayor al 8.33%.
- Se realizó una reunión con el jefe de Ingeniería, donde se evaluaron los resultados de la frecuencia y peso relativo (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).
- Se determinó, con base en los datos de la **¡Error! No se encuentra el origen de la r eferencia.** y en conjunto con el jefe de ingeniería, que las técnicas de *Lean Manufacturing* con mayor potencial de mejora para los indicadores analizados (Sección 3.7) fueron las siguientes fueron:
    - **Las 5S**, con un peso relativo del **37.50%**, posicionándose como la herramienta con mayor impacto potencial.
    - **SMED**, con un peso relativo del **28.83%**, también destacando como una de las más relevantes.
- Se estableció que las técnicas con un peso relativo inferior al **10%** no serían consideradas para su implementación, debido a su impacto limitado sobre los indicadores evaluados.
- Se determinó que **el orden óptimo para aplicar las técnicas** seleccionadas sería el siguiente:
    - Las 5S
    - SMED
- Se definió de qué manera contribuiría las técnicas seleccionadas a la mejora de los procesos dentro de la empresa de estudio:

- **Las 5S**. Tiene como objetivo mejorar el entorno de trabajo, reducir los tiempos de búsqueda de herramientas y materiales, mediante la eliminación de objetos innecesarios, organización de herramientas, establecimiento de rutinas de limpieza y la promoción de la disciplina del personal.
- **SMED**. Tiene como objetivo genera mayor tiempo productivo y capacidad de respuesta ante la demanda mediante la reducción de los tiempos de cambio, el aumento de la flexibilidad de producción y la disminución de inventarios en proceso.

3.11 Aplicar las 5S en la organización del área de trabajo

En esta sección se describe la implementación de las 5S en la línea de producción machetes, descrita de la Sección 3.4.1.1 a la Sección 3.4.1.3. Con esta implementación se desea mejorar la organización del espacio de trabajo y eliminar equipos innecesarios dentro de la línea. La aplicación de las 5S se llevó a cabo mediante las siguientes actividades:

- Desarrollo de un diagnóstico inicial.
- Impartición de capacitación al personal operativo.
- Elaboración de formatos de apoyo para la aplicación de las 5S.
- Repartición de áreas para implementación.
- Aplicación de *Seiri* (Clasificar).
- Aplicación de *Seiton* (Ordenar).
- Aplicación de *Seiso* (Limpiar).
- Aplicación de *Seiketsu* (Estandarizar).
- Aplicación de *Shitsuke* (Disciplina).

3.11.1 Desarrollo de un diagnóstico inicial

Para la aplicación de las 5S, en la línea de producción de machetes, se llevó a cabo un diagnóstico inicial. Si bien se incluyó la medición del espacio ocupado por elementos innecesarios (Sección 3.8.1), también fue fundamental identificar los principales focos de

desorden y las fuentes de suciedad. Este análisis se realizó a través de las siguientes actividades:

- Se inspeccionaron las áreas de trabajo, mediante recorridos por cada una de las estaciones, lo que permitió la identificación de puntos con desorden, acumulación de materiales y fuentes de suciedad.
- Se platicó con el personal operativo y supervisores, con el objetivo de comprender las problemáticas más comunes en las distintas estaciones de trabajo y en la línea de producción en general.
- Se agruparon las observaciones generales realizadas de las estaciones de trabajo de la línea de producción, clasificándolas según cada uno de los principios de las 5S; la clasificación se presenta en la Tabla 3.49.
- Se solicitó autorización para el registro visual, gestionando con el jefe de ingeniería el permiso necesario para documentar los hallazgos mediante fotografías.

Tabla 3.49. Clasificación de observaciones mediante los principios de las 5S. (fuente: elaboración propia).

S evaluada	Observaciones
Seiri (Clasificar).	• Acumulación de equipos que no son utilizados en las estaciones de trabajo. • Material sin un lugar asignado para su almacenamiento. • Exceso de botes de plástico acumulados sin algún propósito.
Seiton (Ordenar).	• Herramientas colocadas sin un orden definido o en zonas inadecuadas. • Tarimas con cajas de diferentes referencias sin orden y ocupando mucho espacio. • Materiales distribuidos de forma desorganizada.
Seiso (Limpiar).	• Áreas de trabajo con suciedad acumulada en los equipos. • Trapos impregnados con aceite dentro de tableros de control. • Piso resbaladizo causado por derrame de aceite.
Seiketsu (Estandarizar).	• Ausencia de procedimientos visuales para mantener el orden y la limpieza. • Ausencia de señalización para definir áreas de materiales, productos terminados y residuos.
Shitsuke (Disciplina).	• Falta de compromiso para mantener las condiciones que demanda las 5S. • Ausencia de auditorías para mantener la disciplina por parte del personal.

- Se tomaron fotografías en cada área de trabajo a lo largo de la línea de producción, con el fin de evidencia de las condiciones observadas.
- Se registró la evidencia fotográfica de las áreas de trabajo, mostrando las condiciones observadas, con el propósito de contar con una base que permitiera comparar el estado "*actual y después de la implementación de las 5S*". Evidencia del estado actual se muestra en la Figura 3.18.

3.11.2 Impartición de capacitación al personal operativo

Para aplicar las 5S, fue necesario informar al personal operativo sobre el significado de cada S y los objetivos que se buscan alcanzar con su implementación. Con este propósito, se llevaron a cabo sesiones de capacitación orientadas a transmitir los principios básicos, los beneficios y la forma correcta de aplicar las 5S en cada una de sus áreas de trabajo. Para ello, se desarrollaron las siguientes actividades:

- Se elaboró una presentación interactiva con información clara y concisa, compuesta por un total de 42 diapositivas que incluyeron teoría, ejemplos, fotografías reales del entorno de trabajo y tres dinámicas diseñadas para captar la atención del personal.

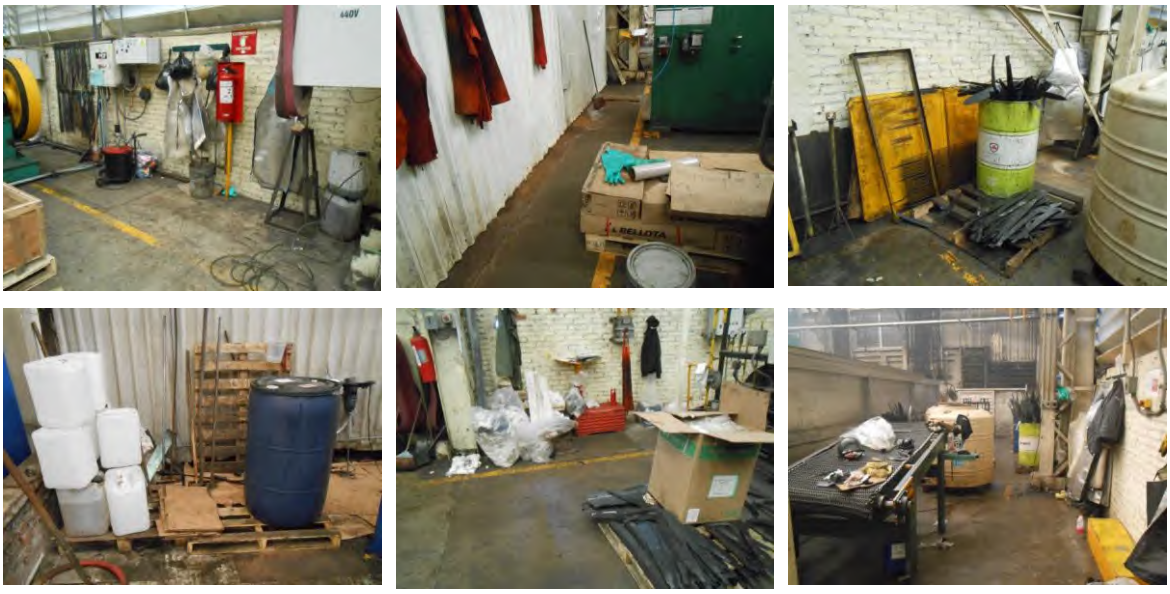
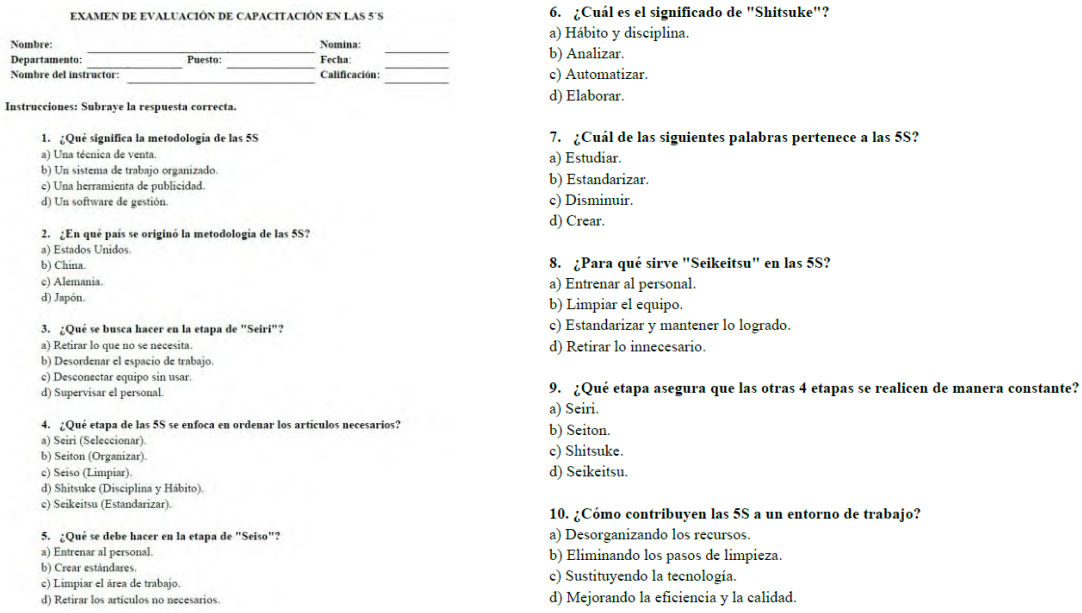


Figura 3.18. Evidencia de la situación actual en las áreas de la línea de producción de machetes. (fuente: elaboración propia).

- Se diseñó un examen compuesto por diez preguntas con el fin de verificar que se hubiera cumplido el objetivo de transmitir adecuadamente la información presentada durante la capacitación. El examen se muestra en la Figura 3.19.
- Se mostró la presentación y el examen (Figura 3.19) al jefe de Ingeniería para su revisión y validación, con el fin de asegurar que el contenido fuera adecuado y estuviera alineado con los objetivos del área.
- Se coordinó con el jefe de Ingeniería para que, en conjunto con el área de Recursos Humanos, se definiera y agendara las fechas de capacitación. Se establecieron dos días, durante los cuales se impartieron dos sesiones por día, cada una con una duración de una hora y media.
- Se realizaron las actividades dinámicas con los operadores, cronometrando cada una de las dinámicas para que notaran la diferencia al aplicar cada una de las 5S (Figura 3.20).
- Se realizó una ronda de preguntas y respuestas para que los operarios expresaran sus dudas y compartieran sus sugerencias.



EXAMEN DE EVALUACIÓN DE CAPACITACIÓN EN LAS 5´S

Nombre: _____ **Nomina:** _____
Departamento: _____ **Puesto:** _____ **Fecha:** _____
Nombre del instructor: _____ **Calificación:** _____

Instrucciones: Subraye la respuesta correcta.

1. ¿Qué significa la metodología de las 5S
a) Una técnica de venta.
b) Un sistema de trabajo organizado.
c) Una herramienta de publicidad.
d) Un software de gestión.

2. ¿En qué país se originó la metodología de las 5S?
a) Estados Unidos.
b) China.
c) Alemania.
d) Japón.

3. ¿Qué se busca hacer en la etapa de "Seiri"?
a) Retirar lo que no se necesita.
b) Desordenar el espacio de trabajo.
c) Desconectar equipo sin usar.
d) Supervisar el personal.

4. ¿Qué etapa de las 5S se enfoca en ordenar los artículos necesarios?
a) Seiri (Seleccionar).
b) Seiton (Organizar).
c) Seiso (Limpiar).
d) Shitsuke (Disciplina y Hábito).
c) Seikeitsu (Estandarizar).

5. ¿Qué se debe hacer en la etapa de "Seiso"?
a) Entrenar al personal.
b) Crear estándares.
c) Limpiar el área de trabajo.
d) Retirar los artículos no necesarios.

6. ¿Cuál es el significado de "Shitsuke"?
a) Hábito y disciplina.
b) Analizar.
c) Automatizar.
d) Elaborar.

7. ¿Cuál de las siguientes palabras pertenece a las 5S?
a) Estudiar.
b) Estandarizar.
c) Disminuir.
d) Crear.

8. ¿Para qué sirve "Seikeitsu" en las 5S?
a) Entrenar al personal.
b) Limpiar el equipo.
c) Estandarizar y mantener lo logrado.
d) Retirar lo innecesario.

9. ¿Qué etapa asegura que las otras 4 etapas se realicen de manera constante?
a) Seiri.
b) Seiton.
c) Shitsuke.
d) Seikeitsu.

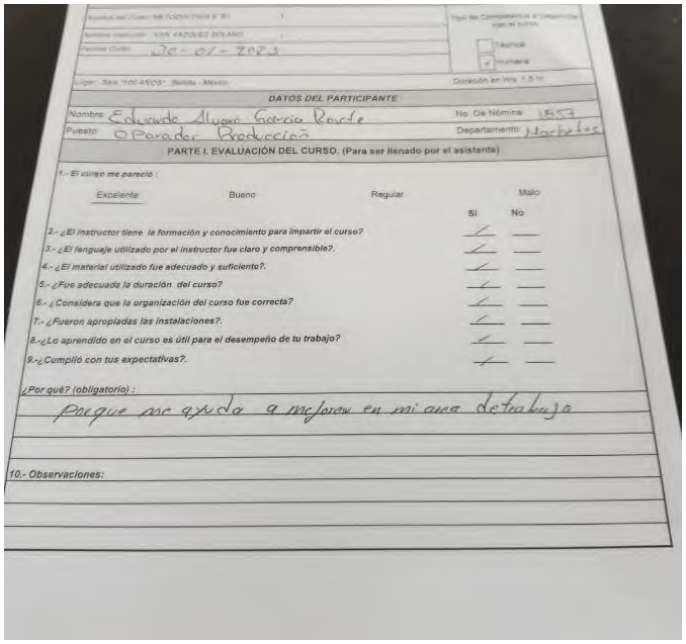
10. ¿Cómo contribuyen las 5S a un entorno de trabajo?
a) Desorganizando los recursos.
b) Eliminando los pasos de limpieza.
c) Sustituyendo la tecnología.
d) Mejorando la eficiencia y la calidad.

(a) *(b)*

Figura 3.19. Examen para capacitación de las 5S. a) vista frontal del examen b) vista posterior del examen.
(fuente: elaboración propia).

- Se aplicó un examen a cada operador para evaluar los conocimientos adquiridos durante la capacitación. Quienes obtuvieron una calificación mayor o igual a 7 aprobaron; los que obtuvieron menos, debían repetir la capacitación.
- Se evaluó la capacitación por los operarios mediante el formato de la **¡Error! No se e ncuentra el origen de la referencia.**, proporcionado por Recursos Humanos, con el fin de conocer su percepción sobre el desempeño de ésta.

Figura 3.20. Evidencia de armado de un lego.
(fuente: elaboración propia).



DATOS DEL PARTICIPANTE

Nombre: Eduardo Alvaro Garcia Rosale — No. De Nómina: 1853

Puesto: Operador Producción — Departamento: Maquetas

PARTE I. EVALUACIÓN DEL CURSO. (Para ser llenado por el asistente)

1.- El curso me pareció :

Excelente | Bueno | Regular | Malo

	Si	No
2.- ¿El instructor tiene la formación y conocimiento para impartir el curso?	✓	
3.- ¿El lenguaje utilizado por el instructor fue claro y comprensible?.	✓	
4.- ¿El material utilizado fue adecuado y suficiente?.	✓	
5.- ¿Fue adecuada la duración del curso?	✓	
6.- ¿Considera que la organización del curso fue correcta?	✓	
7.- ¿Fueron apropiadas las instalaciones?.	✓	
8.-¿Lo aprendido en el curso es útil para el desempeño de tu trabajo?	✓	
9.-¿Cumplió con tus expectativas?.	✓	

¿Por qué? (obligatorio) :

Porque me ayuda a mejorar en mi area de trabajo

10.- Observaciones:

Figura 3.21. Evaluación a la capacitación por parte de los operarios.
(fuente: elaboración propia).

3.11.3 Elaboración de formatos de apoyo para la aplicación de las 5S

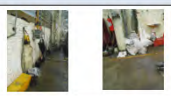
Para la aplicación de las 5S se decidió elaborar un total de cuatro formatos de apoyo, los cuales fueron el *Reporte de aplicación de las 5S, Layout: actual y esperado, Código de colores de seguridad y Plan de almacenamiento de residuos peligrosos*. Estos formatos fueron completados con la información obtenida de la Sección 3.11.1 y con el apoyo del área de Seguridad Industrial. Los formatos se elaboraron en el siguiente orden:

- Se elaboró el primer formato, denominado *"Reporte de aplicación de las 5S",* con los elementos que se deseaban remover de las áreas de trabajo, así como con propuestas de mejoras en dichas áreas. Este formato (**¡Error! No se encuentra el o rigen de la referencia.**), está compuesto por cinco columnas que representan lo siguiente:

    - Columna *"No"*, indica con cuál de las 5S se trabajará).
    - Columna *"Significado"*, especifica el nombre de la S en japonés, seguido de su traducción al español entre paréntesis).

Tabla 3.50. Reporte de aplicación de las 5S.
(fuente: elaboración propia).

REPORTE DE APLICACIÓN DE LAS 5´S		**Nombre de la subárea:**	***Cortadora láser***	**Area total (m²):** 136.63
Elaboró:	Israel Paredes Lino	**Aprobó:**	José Iván Vázquez Solano	**Hoja:** 1 **de** 4
Reviso:	José Iván Vázquez Solano	**Empresa:**	TecnoMetal S.A de C. V	**Fecha:** 07/05/25

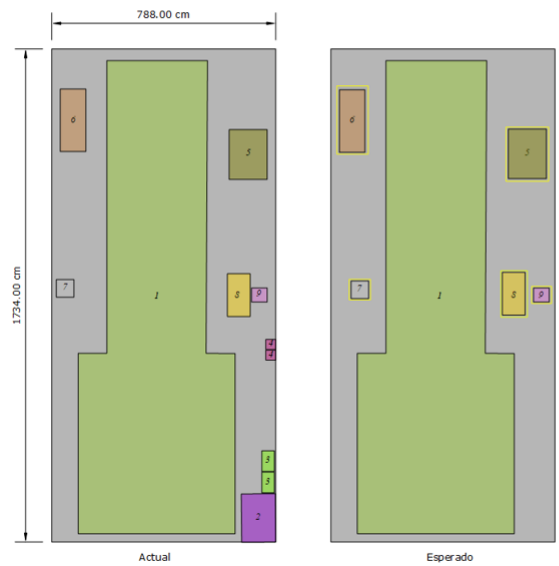
No.	Significado	Situación actual/Hallazgos	Lo que se debe retirar /Corregir	Propuestas	Evidencia
1'S	*Seiri* (Clasificar)	• Cajas con piezas ubicación no optima. • Tarimas con reproceso ubicadas en ubicación no óptima. • Botes de grasa vacíos. • Elementos de limpieza en ubicación incorrecta.	• Reubicar contenedores en zona designada. • Asignar espacio para reproceso. • Desechar botes vacíos.	• Delimitar zonas. • Etiquetar áreas.	
2'S	*Seiton* (Ordenar)	• Herramientas sin ubicación fija. • Falta de perchero para mandiles. • Definir un lugar para equipo de limpieza.	• Colocar caja de herramientas. • Colocar percheros. • Delimitar un área de limpieza si lo amerita.	• Implementar sistema visual.	
3'S	*Seiso* (Limpiar)	• Manchas de aceite en el piso y superficies	• Limpieza de manchas de aceite en superficies	• Limpiar superficies y pisos si es necesario al finalizar turno.	
4'S	*Seiketsu* (Estandarizar)	• Falta de señalizaciones en contenedores para producción. • Falta de señalizaciones para percheros.	• Colocar señalización en contenedores. • Colocar señalizaciones en zonas de percheros	• Definir tipo de señalización • Establecer un formato estándar para las señalizaciones. • Definir un calendario de revisión periódicamente.	
5´S	*Shitsuke (Disciplinar)*	• Falta de seguimiento en las actividades de orden y limpieza. • Ausencia de responsables para mantener estándares.	• Establecer roles y responsabilidades claras. • Realizar auditorías periódicas.	• Fomentar cultura de disciplina y mejora continua.	

- Columna *"Situación actual/Hallazgos,* describe las observaciones realizadas durante los recorridos por las áreas de trabajo. Esta información permite identificar, de forma clara y directa, los elementos que deben ser retirados o eliminados.
- Columna "*Lo que se debe retirar/Corregir*", especifica qué acciones deben llevarse a cabo para corregir las condiciones observadas en la situación actual. Asimismo, propone posibles soluciones o recomendaciones orientadas a generar un mejor ambiente de trabajo.
- Columna "*Observaciones*", describe el impacto que tiene la implementación de cada actividad sobre la S correspondiente, dentro del contexto del área de trabajo.

- Se elaboró el segundo formato, denominado *"Layout: actual y esperado"*. Este formato, que se presenta en la Tabla 3.51, contiene la siguiente información:
  - El lado izquierdo incluye dos representaciones gráficas del *layout*: una correspondiente al estado actual del área de trabajo y otra al estado esperado, es decir, cómo debe quedar el *layout* una vez implementadas las 5S.

Tabla 3.51. Layout: actual y esperado.
(fuente: elaboración propia).

LAYOUT: ACTUAL Y ESPERADO		**Nombre de la subárea:** ***Cortadora laser***		**Área total (m²):** 136.63
Elaboró:	Israel Paredes Lino	**Aprobó:**	José Iván Vázquez Solano	**Hoja:** 2 **de** 4
Reviso:	José Iván Vázquez Solano	**Empresa:**	TecnoMetal S.A de C. V	**Fecha:** 07/05/25



Simbología		
No.	**Nombre**	**Abreviatura**
1	Cortadora laser	MAQ*
2	Caja con lona	OI*
3	Cajones	OI
4	Botes de grasa	OI
5	Transformador	MAQ
6	Base para chatarra	MAT*
7	Tambo para polvo	MAT
8	Mesas de control	MAT
9	Silla	MAT

MAQ*: Maquinaria.

OI*: Objetos innecesarios.

MAT*: Materiales.

Nota: Retirar todos los elementos con abreviatura "OI".

- El lado derecho muestra la simbología utilizada, con las siguientes abreviaturas:
    - MA: Maquinaria.
    - OI: Objetos innecesarios.
    - MAT: Materiales.

- Se elaboró el tercer formato denominado *"Código de colores de seguridad"*, el cual contiene información sobre los colores que deben aplicarse en la línea de producción. Este formato se diseñó con el propósito de delimitar las zonas destinadas a los materiales y maquinaria por parte del personal responsable. Este formato, que se muestra en la Columna *"Para delimitar"*, señala a qué componentes o áreas está destinado cada color.
-
- Tabla 3.52, incluye la siguiente información:
    - Columna *"Color de seguridad"*, indica el nombre del color.
    - Columna *"Código de color"*, especifica el código asignado por La empresa en estudio para su identificación.
    - Columna *"Para delimitar"*, señala a qué componentes o áreas está destinado cada color.

Tabla 3.52. Códigos de colores de seguridad.
(fuente: elaboración propia).

CÓDIGO DE COLORES DE SEGURIDAD		Nombre de la subárea:	Cortadora laser	Area total (m²):	136.63
Elaboró:	Israel Paredes Lino	Aprobó:	José Iván Vázquez Solano	Hoja: 3 de 4	
Revisó:	José Iván Vázquez Solano	Empresa:	TecnoMetal S.A de C. V	Fecha: 7/05/25	

Color de seguridad	Código del color	Para delimitar	Color	Color de tubería	Indicaciones y precisiones.
Azul cielo	Pantone 2915 C	Tubería de agua potable			Azul Pantone 9515C, franjas verde RAL 6002
Tubería de agua industrial	RAL 6002	Tubería de agua industrial y tanques de agua.			Identificación de tuberías que conducen fluidos de bajo riesgo.
Azul tubería	Azul holandés	Tubería de aire comprimido, tuberías de extracción de aire y motores eléctricos.			Azul holandés, franjas verdes RAL 6002
Rojo	RAL 3020	Tubería de combate contra incendio y tambos de residuos.			Tubería, material, equipo de combate y prevención de incendios.
Naranja	RAL 2004	Racks de almacenamiento.		N/A	N/A
Amarillo cromo	Amarillo cromo	Tubería de gas LP, guardas de seguridad en máquinas y señales de peligro en máquina.			Atención, precaución, verificación, e identificación de tuberías que conducen fluidos peligrosos.
Verde maquinas	Verde bellota 2	Maquinaria de Bellota México		N/A	N/A
Gris Pantone cool gray 6c	Pantone cool gray 6c	Gabinetes eléctricos, postes, tubería y canaleta de cableado eléctrico.			N/A
Verde vigas rack	RAL 6005	N/A		N/A	N/A
Blanco RAL 9010	RAL 9010	Estructura metálicas interior y exterior, puertas y ventanas.			

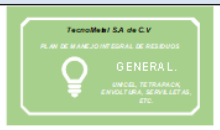
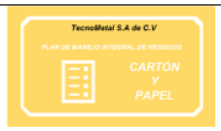
- Columna *"Color" y "Color de tubería"*, permiten visualizar el tono específico del color utilizado, tanto en general como en sistemas de tuberías.
- Columna *"Indicaciones y precisiones"*, describe el uso específico de cada color y las recomendaciones asociadas a su aplicación.

- Se elaboró el cuarto formato denominado "*Plan de almacenaje de residuos peligrosos*", con el propósito de que, al realizar la limpieza de las áreas, el personal encargado pueda identificar correctamente a qué almacén corresponde cada tipo de desecho. Este formato fue desarrollado con el objetivo de proteger el medio ambiente y evitar la mezcla de residuos que puedan representar un riesgo para la salud. El formato, mostrado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, contiene la siguiente información:

  - Columna "*Almacén*", presenta un ícono representativo, similar al que está físicamente colocado en cada almacén.
  - Columna "*Permitido*", especifica qué tipo de basura o materiales que están autorizados para ser depositados en cada almacén, con el fin de mantener un control adecuado de los residuos.

Tabla 3.53. Plan de almacenaje de residuos peligrosos.
(fuente: elaboración propia).

PLAN DE ALMACENAJE DE RESIDUOS PELIGROSOS			Nombre de la subárea: *Cortadora laser*	Area total (m²): 136.63
Elaboró:	Israel Paredes Lino	Aprobó:	José Iván Vázquez Solano	Hoja: 4 de 4
Reviso:	José Iván Vázquez Solano	Empresa:	TecnoMetal S.A de C. V	Fecha: 7/05/25

Almacén	Permitido	Almacén	Permitido
	Papel sucio, servilletas absorbentes, cubrebocas, cintas adhesivas, esponjas sin aceite.		Plástico burbuja, guantes látex sin aceite, peliculas de plástico.
	Tambos vacios pertenecientes de machetes.		Cartón usado, papel de oficina, etiquetas, tubos de cartón, separadores de cartón o papel.
	Polines, tarimas, tablas, virutas, mangos, palos de escoba.		Aceite hidráulico, aceite para maquinaria de corte.
	Filtros de aceites, trapos o estopa, guantes, papel o cartón con aceite, botellas con aceite.		

3.11.4 Repartición de áreas para implementación

Con el objetivo de implementar las 5S, en la línea de producción de machetes, de manera organizada y colaborativa, involucrando al personal de producción, supervisores y demás participantes del área, y con la intención de asegurar la permanencia de la cultura instaurada, una vez concluido el proyecto, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Se definió que el objetivo de los formatos a utilizar, en la aplicación de más 5S, era establecer con claridad qué elementos deben eliminarse, retirarse o acomodarse en cada área, evitando confusiones durante la implementación.
- Se adaptaron los cuatro formatos específicos (Sección 3.11.3) para cada una de las 12 áreas que conforman la línea de producción de machetes (Sección 3.4.1), lo cual generó un total de 48 formatos.
- Se presentaron los 48 formatos al jefe de Ingeniería para su revisión y validación, con el propósito de asegurar que su contenido fuera pertinente y estuviera alineado con los objetivos establecidos.
- Se coordinó con el jefe de Ingeniería para que, en conjunto con el gerente de planta, se realizara una segunda revisión de los formatos y se confirmara su alineación con las metas operativas del área.

- Se gestionó, con el jefe de Ingeniería y el área de Recursos Humanos, la programación de una reunión destinada a distribuir los formatos entre las personas responsables de cada una de las áreas.
- Se estableció un día para difundir la importancia de implementar las 5S. Esto se dio en una sesión, de una hora, con los operadores de cada área.
- Se explicaron los formatos correspondientes a los operadores de cada área, con el objetivo de asegurar una comprensión uniforme y facilitar su correcta aplicación durante la implementación de las 5S.
- Se coordinó con el jefe de Ingeniería para que la aplicación de las 5S se llevara a cabo durante los cambios de turno, dado que la línea de producción no puede detenerse por un día completo.

3.11.5 Aplicación de *Seiri* (Clasificar)

La implementación de *Seiri*, que corresponde a la primera etapa de las 5S, tuvo como propósito apartar los elementos útiles, de los que no lo son, en las estaciones de trabajo, eliminando todo aquello que no generaba valor al proceso. La Figura 3.22 presenta evidencia de cómo se aplicó *Seiri*.

Las actividades realizadas durante la aplicación de *Seiri* fueron las siguientes:

1. **Inspeccionar visualmente las estaciones de trabajo**. Se realizaron recorridos por las estaciones de trabajo de la línea de machetes, utilizando el formato "*Reporte de aplicación de las 5S*" (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** de la S ección 3.11.3) para registrar observaciones.
2. **Registrar los elementos presentes en las estaciones de trabajo**. Se identificaron los elementos que debían mantenerse y aquellos que era necesario eliminar o reubicar, conforme al formato "*Reporte de aplicación de las 5S*".
3. **Eliminar objetos innecesarios de las estaciones de trabajo**. Se retiraron objetos innecesarios, como accesorios inactivos y materiales sobrantes, siguiendo el formato *"Layout: actual y esperado"* (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** d

e la Sección 3.11.3). Estos objetos fueron enviados a un área temporal de almacenamiento para analizar si podían ser reutilizados o desechados.

4. **Organizar los elementos útiles de manera eficiente**. Se agruparon los materiales necesarios en cada área, basándose en el formato *"Layout: actual y esperado"*.

Figura 3.22. Trabajadores aplicando Seiri.
(fuente: elaboración propia).

Esta clasificación tuvo como objetivo facilitar la localización y el uso posterior de dichos elementos.

5. **Manejar adecuadamente los residuos generados**. Se recolectaron y eliminaron los desechos acumulados, como empaques, restos de materiales y residuos generados por el proceso industrial. Los residuos fueron segregados en contenedores específicos, conforme al formato "*Plan de almacenaje de residuos peligrosos*" (**¡Error! No se e ncuentra el origen de la referencia.** de la Sección 3.11.3).

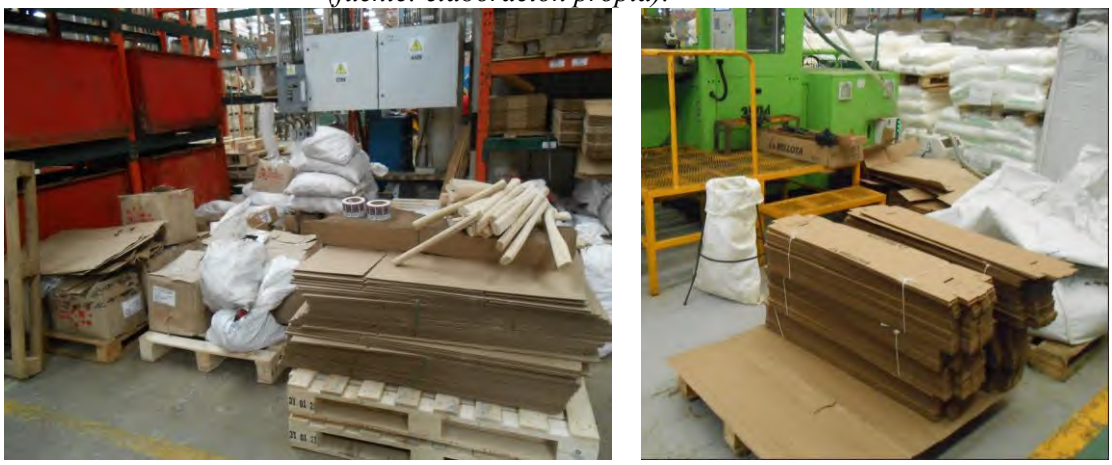
La implementación de *Seiri* permitió eliminar materiales, herramientas y objetos innecesarios en las estaciones de trabajo, favoreciendo un entorno funcional. En la Figura 3.23 se presenta un ejemplo del estado de las estaciones de trabajo, antes y después de aplicar *Seiri*.

3.11.6 Aplicación de *Seiton* (Ordenar)

La implementación de *Seiton*, que corresponde a la segunda etapa de las 5S, tuvo como propósito organizar y ordenar los materiales y accesorios en lugares adecuados en las estaciones de trabajo. Las actividades realizadas durante la aplicación de *Seiton* fueron las siguientes:

1. **Identificar las áreas más desorganizadas.** A partir de los registros (Paso 1 de la Sección 3.11.5) se determinó que las áreas de empaque e inyección de plásticos presentan mayores niveles de desorden, por la acumulación de materiales apilados sin control. Figura 3.24 ejemplifica lo mencionado previamente.

Figura 3.23. Antes y después de la aplicación Seiri.
(fuente: elaboración propia).



(a) *(b)*

Figura 3.24. Áreas con mayor desorganización (a) empaque (b) inyección de plásticos.
(fuente: elaboración propia).

2. **Diseñar un estante para el área de inyección de plásticos.** Se diseño un estante de estructura metálica con una base para clasificar y ordenar las cajas y accesorios utilizados. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** ilustra las d iferentes vistas del estante diseñado.

3. **Diseñar un *rack* en la estación de empaque.** Se propuso un *rack* para clasificar y ordenar las cajas y accesorios utilizados. La **¡Error! No se encuentra el origen de l a referencia.** ilustra las diferentes vistas del *rack*.
4. **Delimitar zonas de almacenamiento.** Se establecieron áreas específicas para herramientas, producto en proceso y residuos, utilizando marcadores visuales como cintas de colores.
5. **Eliminar duplicados y elementos innecesarios.** Se retiraron objetos repetidos o sin valor para el proceso, los cuales fueron eliminados o enviados a un área de almacenamiento temporal.

La implementación de *Seiton* permitió optimizar el uso del espacio y reducir el desorden evitando pérdidas de tiempo al buscar de materiales y accesorios. En la Figura 3.27 se presenta un ejemplo del estado de las estaciones de trabajo, antes y después de aplicar *Seiton*.

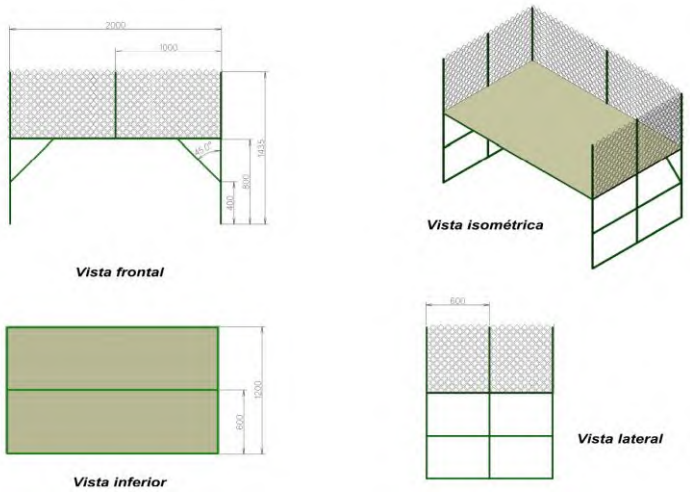


Figura 3.25. Estante para inyección de plásticos.
(fuente: elaboración propia).

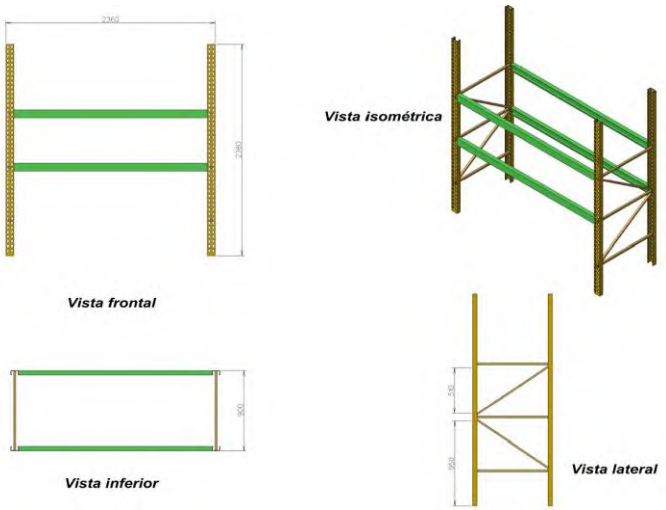


Figura 3.26. Rack para empaque.
(fuente: elaboración propia).

(a) *(b)*

Figura 3.27. Aplicación de Seiton (a) antes y (b) después.
(fuente: elaboración propia).

3.11.7 Aplicación de *Seiso* (Limpiar)

La implementación de *Seiso*, que corresponde a la tercera etapa de las 5S, tuvo como propósito mantener las áreas de trabajo limpias y libres de suciedad que pueda afectar el desempeño de las operaciones, la seguridad del personal y la conservación de los equipos. Las actividades realizadas durante la aplicación de *Seiso* se describen a continuación:

1. **Realizar inspección visual para identificar suciedad acumulada.** Se llevaron a cabo recorridos por las estaciones de trabajo de la línea de machetes, con el fin de detectar áreas con presencia de polvo, residuos metálicos, grasa, aceites o cualquier otro tipo de suciedad generada por el proceso.

2. **Limpiar equipos, herramientas y superficies de trabajo.** Se efectuaron labores de limpieza profunda en maquinaria, mesas, herramientas, contenedores y pisos, eliminando restos de materiales, rebabas y contaminantes adheridos.
3. **Colocar señalizaciones y recordatorios de limpieza**. Se instalaron etiquetas visuales en puntos estratégicos, recordando la obligación de mantener el área limpia y especificando qué debe limpiarse, con qué frecuencia y con qué materiales.
4. **Implementar contenedores y herramientas para limpieza.** Se asignaron escobas y botes para residuos y se ubicaron en lugares visibles y de fácil acceso.

La implementación de *Seiso* permitió mejorar significativamente las condiciones de limpieza en las estaciones de trabajo, reduciendo la acumulación de suciedad en los equipos. Esto contribuyó a crear un entorno más seguro, ordenado y visualmente controlado. En la Figura 3.28 se presenta un ejemplo aplicando *Seiso*.

Figura 3.28. Trabajadores aplicación de Seiso.
(fuente: elaboración propia).

3.11.8 Aplicación de *Seiketsu* (Estandarizar)

La implementación de *Seiketsu*, que corresponde a la cuarta etapa de las 5S, tuvo como objetivo estandarizar y mantener las condiciones logradas en las etapas anteriores: clasificación, orden y limpieza. A diferencia de las primeras “S”, *Seiketsu* no representó una acción puntual, aquí los esfuerzos se enfocaron en que el orden y la limpieza se convirtieran en hábitos diarios. Las actividades realizadas durante la aplicación de *Seiketsu* se describen a continuación:

1. **Monitorear el cumplimiento mediante auditorías internas.** Se propusieron revisiones periódicas para asegurar que las condiciones establecidas se mantuvieran de forma consistente en todas las áreas de la línea de producción de machetes.
2. **Crear formatos de seguimiento y verificación.** Se diseñaron listas de chequeo para evaluar periódicamente el cumplimiento de las 5S en cada estación, permitiendo registrar hallazgos y acciones correctivas. La Tabla 3.54 muestra el formato utilizado.
3. **Promover la mejora continua.** Se dialogó con los operarios de todas las áreas de la línea de machetes, para fomentar una cultura participativa, invitándolos a compartir sus propuestas de mejora con el departamento de ingeniería.

3.11.9 Aplicación de *Shitsuke* (Disciplina)

La implementación de *Shitsuke*, que corresponde a la quinta etapa de las 5S, tuvo como objetivo fomentar la disciplina, el compromiso y la responsabilidad individual y colectiva para mantener y mejorar continuamente las prácticas implementadas en las etapas anteriores. Las actividades realizadas durante la aplicación de *Seiketsu* se describen a continuación:

1. **Supervisar el cumplimiento constante de las 5S.** Se efectuaron visitas periódicas para verificar que las condiciones logradas en *Seiri, Seiton, Seiso y Seiketsu* se mantuvieran de forma disciplinada.

Tabla 3.54. Lista de chequeo para las 5S.
(fuente: elaboración propia).

Auditoria de las 5´S	
Empresa:	TecnoMetal
Área:	

Elaboró:	
Fecha:	
Turno:	

Un sitio para cada cosa y cada cosa en su sitio.
No es más limpio el que más limpia sino el que menos ensucia.

Etapa	Descripción	Cumple	No cumple
"*Seiri*" Separar y eliminar objetos innecesarios.	¿Se han retirado todas las herramientas y objetos innecesarios?		
	¿Se han separado correctamente los objetos necesarios de los innecesarios?		
	¿Se han eliminado todos los residuos o productos innecesarios?		
	¿Se ha liberado espacio eliminando todas las acumulaciones de objetos o materiales?		

Etapa	Descripción	Cumple	No cumple
"*Seiton*" Situar e identificar objetos	¿Se han colocado todas las herramientas y materiales en sus lugares designados?		
	¿Se han etiquetado claramente todos los estantes, cajones y contenedores?		
	¿Se ha colocado señalización visual clara para indicar la ubicación de los objetos?		
	¿Se han mantenido los caminos y zonas de trabajo libres y despejadas?		

Etapa	Descripción	Cumple	No cumple
"*Seizo*" Eliminar suciedad	¿Se han limpiado diariamente todas las superficies, equipos y herramientas?		
	¿Se tienen materiales de limpieza en buen estado disponibles para su uso?		
	¿Se han eliminado todas las fuentes de suciedad como fugas o acumulaciones?		
	¿Se han reportado todas las condiciones anormales detectadas durante la limpieza?		

Etapa	Descripción	Cumple	No cumple
"*Seiketsu*" Estandarizar	¿Se han colocado instrucciones visuales claras sobre orden y limpieza?		
	¿Se han aplicado etiquetas, colores y formatos uniformemente en todas las áreas?		
	¿Se usan listas de verificación para asegurar el cumplimiento de los estándares?		
	¿Se ha asegurado que todos sigan los mismos criterios de orden y limpieza?		

Etapa	Descripción	Cumple	No cumple
"*Shitzuke*" Sostener y respetar	¿Se cumple con las 5´S constantemente sin necesidad de supervisión directa?		
	¿Se mantiene el orden y limpieza durante toda la jornada laboral?		
	¿Se participa activamente en el proceso de mejora continua de las 5´S?		
	¿Se demuestra responsabilidad y compromiso con las 5´S en todo momento?		

2. **Establecer comunicación con los operadores.** Se promovió el diálogo directo y constante con los operadores para conocer sus opiniones y reforzar el compromiso con las actividades de orden, limpieza y disciplina.
3. **Establecer comunicación con el departamento de ingeniería.** Se fomentó la interacción directa entre los operadores y el departamento de Ingeniería con el propósito de identificar observaciones, dificultades y áreas de oportunidad relacionadas con el orden, la limpieza y las condiciones de las estaciones de trabajo.

Esta iniciativa buscó fortalecer la colaboración interdisciplinaria para mantener estándares de organización y seguridad en el área productiva.

3.12 Proponer la implementación de SMED para reducción de tiempos de cambio de bandas para lijadoras

Con el propósito de reducir los tiempos de cambio de bandas para lijadoras (Sección 3.8.2), se llevó a la propuesta de implementación de SMED (Figura 3.29), que adaptó las cuatro fases que conforman esta técnica, descritas en la Sección 2.7.2.2.

3.12.1 Fase preliminar: Identificación de actividades internas y externas del cambio de bandas

En la fase preliminar de la aplicación de SMED, se buscó identificar y clasificar las actividades internas y externas que el personal realiza durante el cambio de banda en la máquina lijadora. Para cumplir con este objetivo, se llevaron a cabo las siguientes acciones:

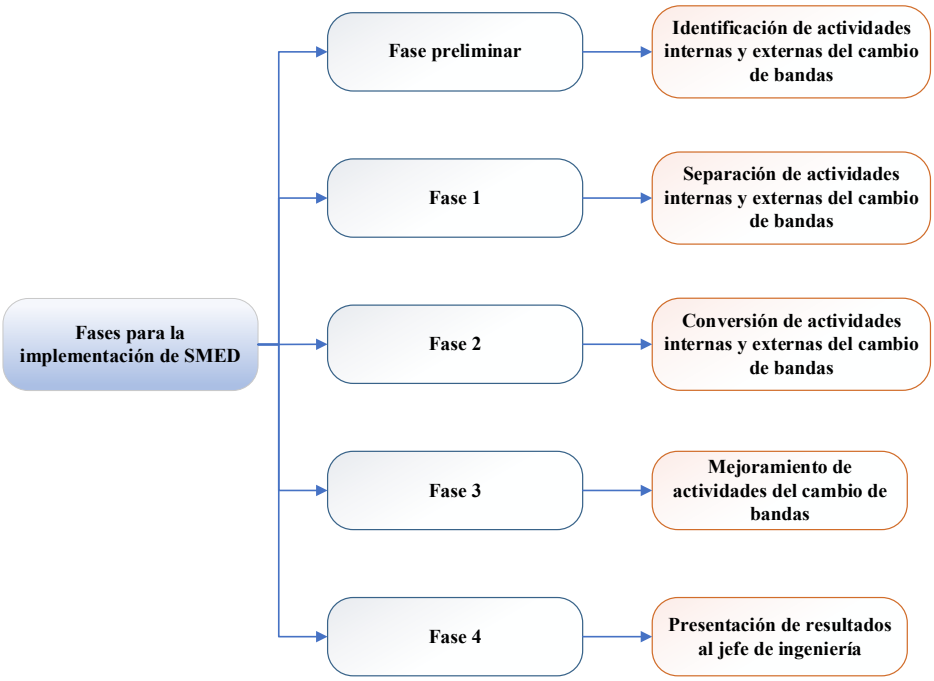


Figura 3.29. Fases para la implementación de SMED. (fuente: elaboración propia).

- Creación de listado de actividades de cambio de banda.

- Elaboración de diagrama de flujo del proceso de cambio de banda.
- Identificación de actividades internas y externas del proceso de cambio actual.
- Medición de porcentajes de contribución de las actividades de preparación.

3.12.1.1 Creación de listado de actividades de cambio de banda

Para la elaboración del listado de actividades, correspondientes al cambio de banda en la máquina lijadora, se tomó como base la información previamente documentada en la Sección 3.8.2.1. Estas actividades sirvieron como punto de partida para identificar cada una de las tareas involucradas en el proceso.

- Ir por banda lijadora.
- Ir apagar la máquina.
- Aflojar tornillo de seguridad de manubrio de ajuste.
- Abrir puerta de acceso.
- Aflojar cabezal.
- Retirar banda usada.
- Inspección de banda usada.
- Limpiar caja (zona donde se aloja la banda).
- Meter banda lijadora.
- Colocar banda en su posición correcta.
- Ajustar banda.
- Calibrar banda (tensión y centrado).
- Cerrar puerta de acceso
- Realizar calibración para producción.
- Asegurar manubrio.

3.12.1.2 Elaboración de diagrama de flujo del proceso de cambio de banda

A partir del listado de actividades, correspondiente al cambio de bandas (Sección 3.12.1.1), se elaboró un diagrama de flujo de trabajo que representa gráficamente el proceso completo. El objetivo de este diagrama fue visualizar de forma clara y estructurada las actividades realizadas, incluyendo la duración de cada una, así como los tiempos asociados a

operaciones, transportes, inspecciones, demoras y almacenamientos. Esta información se resume en la Tabla 3.55

3.12.1.3 Identificación de actividades internas y externas del proceso de cambio actual

Con el objetivo de identificar cuáles actividades, del proceso de cambio de bandas en las lijadoras, pueden realizarse con la máquina apagada (actividades internas) y cuáles deben efectuarse con la máquina en funcionamiento (actividades externas), se analizaron las actividades mencionadas en la Sección 3.12.1.1.

Tabla 3.55. Diagrama de flujo de cambio de bandas. (fuente: elaboración propia).

DIAGRAMA DE FLUJO DE TRABAJO

CAMBIO DE BANDA DE LIJADORAS

Resumen		
	Tipo de actividad	**Número**
	Operación	9
	Transporte	1
	Inspección	4
	Demora	1
	Almacenamiento	0
Tiempo total: 7.30 minutos		15

Datos	
Pagina:	1 de 1
Enfoque:	Actual
Empresa:	TecnoMetal S.A de C.V.
Proceso:	Lijadoras
Elaboró:	Israel Paredes Lino
Aprobó:	José Iván Vázquez Solano
Fecha:	14/05/24

No.	Detalles del método (Actual)	Operación.	Trasporte.	Inspección.	Demora.	Almacén.	Tiempo (Minutos)
1	Ir por banda lijadora.	●	➡	■	◗	▼	0.20
2	Apagar la máquina.	●	➡	■	◗	▼	0.11
3	Aflojar tornillo de seguridad de manubrio de ajuste.	●	➡	■	◗	▼	0.27
4	Abrir puerta de acceso.	●	➡	■	◗	▼	0.10
5	Aflojar cabezal.	●	➡	■	◗	▼	0.37
6	Retirar banda usada.	●	➡	■	◗	▼	0.24
7	Inspección de banda usada.	●	➡	■	◗	▼	0.23
8	Limpiar caja (Zona donde se aloja la banda).	●	➡	■	◗	▼	0.37
9	Meter banda lijadora.	●	➡	■	◗	▼	0.94
10	Colocar banda en posición correcta.	●	➡	■	◗	▼	0.18
11	Ajustar banda.	●	➡	■	◗	▼	0.33
12	Calibrar banda (tensión y centrado).	●	➡	■	◗	▼	0.36
13	Cerrar puerta de acceso.	●	➡	■	◗	▼	0.10
14	Realizar calibración para producción.	●	➡	■	◗	▼	3.23
15	Asegurar manubrio.	●	➡	■	◗	▼	0.28
	Total:	9	1	4	1	0	7.30

Con este objetivo, se consultó directamente a los operadores de las máquinas para identificar cada actividad como interna o externa, basándose tanto en su experiencia, como en lo observado durante el proceso. Los resultados se presentan en la **¡Error! No se encuentra el o rigen de la referencia.**.

3.12.1.4 Cálculo de porcentajes de contribución de las actividades de preparación

En esta etapa, se calcularon los porcentajes de contribución de cada actividad con el objetivo de comprender por qué algunas presentan un valor elevado. Los resultados que se presentan en la Tabla 3.57 se obtuvieron mediante las siguientes acciones:

Tabla 3.56. Identificación de actividades internas y externas. (fuente: elaboración propia).

No.	Actividad	Tipo de Operación
1	Ir por banda lijadora.	Externa
2	Apagar la máquina.	Externa
3	Aflojar tornillo de seguridad de manubrio de ajuste.	Interna
4	Abrir puerta de acceso.	Externa
5	Aflojar cabezal.	Interna
6	Retirar banda usada.	Interna
7	Inspección de banda usada.	Interna
8	Limpiar caja (Zona donde se aloja la banda).	Externa
9	Meter banda lijadora.	Interna
10	Colocar banda en posición correcta.	Interna
11	Ajustar banda.	Interna
12	Calibrar banda (tensión y centrado).	Interna
13	Cerrar puerta de acceso.	Interna
14	Realizar calibración para producción.	Interna
15	Asegurar manubrio.	Interna

Tabla 3.57. Porcentajes de contribución de cambio de banda en lijadoras. (fuente: elaboración propia).

No.	Actividad	Tiempo promedio (Segundos)	Porcentaje de Contribución	¿Por qué presenta un porcentaje de contribución alto?
1	Ir por banda lijadora.	12	2.74%	Si bien el lugar designado de las lijas no se encuentra lejos se pierde tiempo en ir por la banda, buscarla y llevarla de regreso al lugar de trabajo.
2	Apagar la máquina.	7	1.50%	Esta actividad no demanda tanto tiempo debido a que el interruptor de apagado se encuentra cerca del operador.
3	Aflojar tornillo de seguridad de manubrio de ajuste.	16	3.69%	Se debe buscar la herramienta adecuada y aflojar el tornillo para poder mover el manubrio.
4	Abrir puerta de acceso.	6	1.37%	La puerta para acceder a la banda se retira de manera rápida gracias al seguro que tiene.
5	Aflojar cabezal.	22	5.06%	El operador necesita usar una palanca para aflojar el cabezal, ya que suele estar tenso para mantenerlo fijo en su posición.
6	Retirar banda usada.	14	3.28%	Para quitar la banda usada, es necesario aflojar el cabezal, lo que hace que este paso tome más tiempo del esperado.
7	Inspección de banda usada.	14	3.15%	Se verifica si la banda presenta desgaste, lo cual requiere detenerse y observar detalladamente. En algunos casos, se decide reutilizarla.
8	Limpiar caja (Zona donde se aloja la banda).	22	5.06%	La acumulación de polvo o residuos impide la correcta colocación de la nueva banda. Esta limpieza es minuciosa y toma tiempo.
9	Meter banda lijadora.	56	12.86%	El ingreso de la banda puede ser complejo si no está correctamente alineada o si el espacio está sucio, lo cual retrasa la operación.
10	Colocar banda en posición correcta.	11	2.46%	La manipulación para la colocación de la banda es lo que hace que sea complicado de colocar la banda.
11	Ajustar banda.	20	4.51%	El ajuste requiere precisión para asegurar que la banda quede centrada y tensa, lo que implica manipulación y revisión constante.
12	Calibrar banda (tensión y centrado).	22	4.92%	La calibración es esencial para evitar que la banda se desvíe durante la operación; requiere varios intentos hasta quedar bien posicionada.
13	Cerrar puerta de acceso.	6	1.37%	La puerta para cerrar la caja donde se resguarda el cabezal se cierra de manera rápida gracias al seguro que tiene.
14	Realizar calibración para producción.	194	44.19%	Este proceso es el más crítico, ya que implica validar que la máquina trabaje correctamente con la banda colocada. Requiere pruebas y ajustes finos.
15	Asegurar manubrio.	17	3.83%	Una vez calibrado, se debe asegurar el manubrio correctamente. Si no se hace con precisión, se corre el riesgo de que el ajuste se pierda.
	Total:	439	100.00%	

- Se tomó el tiempo promedio de los ciclos descritos en la Sección 3.8.2.4, redondeándolo al valor más próximo y registrándolo en la columna *"Tiempo promedio (segundos)"*.
- Se calculó el porcentaje de contribución dividiendo el tiempo promedio requerido para completar cada actividad entre la suma total del tiempo de todas las actividades, registrando el resultado en la columna *"Porcentaje de contribución"*.
- Se mantuvieron conversaciones con el personal operativo para identificar los factores que influyen en el tiempo de ejecución de cada actividad, y se documentaron en la columna *"¿Por qué presenta un porcentaje de contribución alto?"*

3.12.2 Fase 1: Separación de actividades internas y externas del cambio de bandas

Para separar y clasificar las actividades involucradas en el cambio de bandas de las lijadoras, y asegurar que cada una se realice de manera adecuada, se planteó la aplicación de la primera fase de SMED mediante las siguientes acciones:

- Identificación y separación de actividades internas y externas en cambio de bandas.
- Elaboración de una lista de verificación para controlar y ejecutar las actividades del cambio de bandas.

3.12.2.1 Identificación y separación de actividades internas y externas en cambio de bandas.

Con el objetivo de optimizar el proceso de cambio de bandas, se realizó una clasificación detallada de las actividades involucradas, diferenciándolas como internas o externas. Esta clasificación quedó reflejada en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la c ual incluye:

- El orden de ejecución de las actividades, junto con el tiempo requerido para cada una.
- El tiempo total destinado a las actividades de preparación internas.
- El tiempo total correspondiente a las actividades de preparación externas.

Tabla 3.58. Separación de actividades internas y externas. (fuente: elaboración propia).

Orden	Actividades Externas	Tiempo (Segundos)
1	Ir por banda lijadora.	12
2	Abrir puerta de acceso.	6
3	Ir apagar máquina.	7
	Total:	25

Orden	Actividades Internas	Tiempo (Segundos)
1	Aflojar tornillo de seguridad de manubrio de ajuste.	16
2	Aflojar cabezal.	22
3	Retirar banda usada.	14
4	Limpiar caja (Zona donde se afloja banda).	22
5	Meter banda lijadora.	56
6	Colocar banda en posición correcta.	11
7	Ajustar banda.	20
8	Calibrar banda (tensión y centrado).	22
9	Realizar calibración para producción.	194
10	Inspección de banda usada.	14
11	Cerrar puerta de acceso.	6
12	Asegurar manubrio.	17
	Total:	414

A partir de los resultados de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se e stimó que es posible disponer de **25 segundos adicionales de funcionamiento de la máquina, al reducirse el tiempo total del cambio de bandas de 439 a 414 segundos, es decir, de 7.31 a 6.9 minutos.**

3.12.2.2 Elaboración de lista de verificación para controlar y ejecutar las actividades del cambio de bandas

Como parte de la propuesta de mejora en el proceso de cambio de bandas en las lijadoras, se elaboró una lista de verificación con el objetivo de facilitar, al supervisor y al responsable de línea, el control y seguimiento de las actividades clasificadas como internas o externas (Tabla 3.59). Se recalcó que el personal debe realizar las actividades externas antes de apagar la máquina.

3.12.3 Fase 2: Conversión de actividades internas en externas del cambio de bandas

Para la propuesta de implementación de la segunda fase de SMED, con el objetivo de convertir las actividades internas en externas, mostradas en la Tabla 3.56 o **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se contó con la colaboración del personal operativo y de un ingeniero de mantenimiento del área de machetes.

Tabla 3.59. Lista de verificación de actividades de cambio de banda. (fuente: elaboración propia).

Empresa:	TecnoMetal S.A de C. V	Acción:	Cambio de banda para lijadora	Fecha:	
Elaboró:		Operador:		Turno:	

Lista de verificación de actividades, cambio de banda para lijadoras.

No.	Actividades Externa	¡Se realizó la actividad?	
1	Ir por banda lijadora.	Si	No
2	Abrir puerta de acceso.	Si	No
3	Ir apagar máquina.	Si	No

No.	Actividades Internas	¡Se realizó la actividad?	
1	Aflojar tornillo de seguridad de manubrio de ajuste.	Si	No
2	Aflojar cabezal.	Si	No
3	Retirar banda usada.	Si	No
4	Limpiar caja (Zona donde se afloja banda).	Si	No
5	Meter banda lijadora.	Si	No
6	Colocar banda en posición correcta.	Si	No
7	Ajustar banda.	Si	No
8	Calibrar banda (tensión y centrado).	Si	No
9	Realizar calibración para producción.	Si	No
10	Inspección de banda usada.	Si	No
11	Cerrar puerta de acceso.	Si	No
12	Asegurar manubrio.	Si	No

Con base en este apoyó se decidió que las actividades que pueden convertirse en externas, así como un comentario de su análisis y la implementación a realizarse, se muestra a continuación:

- Actividad 10: Inspección de banda usada.
  - Comentario:
    - La inspección de bandas usadas se realiza para verificar si están en condiciones adecuadas para reutilizarse en otra máquina.
    - Esta actividad toma en promedio 14 segundos.
    - Todas las bandas que se revisan o desmontan se reemplazan por nuevas.
  - Mejora:
    - La inspección de banda se debe realizar durante el cambio de turno para eliminar el tiempo de máquina parada.
    - Las bandas usadas deben colocarse en un área designada para su reutilización o descarte.
  - Comentario de implementación.
    - Esta actividad sólo fue una propuesta, debido a la limitación de tiempo durante la estancia en la planta, por el tiempo destinado a la

recopilación, organización y análisis de la información necesaria para estructurar adecuadamente el proyecto.

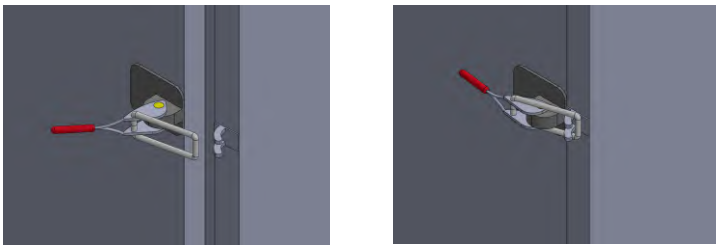
- Actividad 11: Cerrar puerta de acceso
  - Comentario:
    - Los seguros se encuentran en mal estado lo cual dificulta su apertura y cierre. La Figura 3.30 muestra un ejemplo de esta situación.
    - El tiempo de la realización de esta actividad es rápida pero debido a los imperfectos que tiene, hace que en ocasiones demore más de lo habitual.

(a) *(b)*

Figura 3.30. Sistema de sujeción de puerta (a) no hay sistema de sujeción (b) palanca rota. (fuente: elaboración propia).

  - Mejora:
    - El sistema de fijación debe ser reparado de tal manera que cada sistema cuente con sus elementos necesarios, como se muestra en la Figura 3.31.
  - Comentario de implementación.
    - La mejora sólo fue una propuesta, debido a la limitación de tiempo durante la estancia en la planta, por el tiempo destinado a la recopilación, organización y análisis de la información necesaria para estructurar adecuadamente el proyecto.
- Actividad 12: Asegurar el manubrio
  - Comentario:
    - Para asegurar el manubrio y mantener el cabezal en su posición, se utiliza un tornillo tipo Allen, como se muestra en la Figura 3.32.
    - Se pueden generar retrasos cuando no se dispone de la llave adecuada, extendiendo el tiempo de la actividad.

- Mejora:
    - Se puede instalar un sistema que permita apretar y aflojar fácilmente sin requerir una llave tipo Allen, tal como se muestra en la Figura 3.33.



a) *(b)*

Figura 3.31. Sistema de sujeción ideal (a) apertura (b) cierre. (fuente: elaboración propia).

(a) *(b)*

Figura 3.32. Seguro de fijación de manubrio (a) vista frontal (b) vista frontal/derecha. (fuente: elaboración propia).

(a) *(b)*

Figura 3.33. Propuesta de nuevo sistema de fijación (a) apertura, (b) cierre. (fuente: elaboración propia).

- Comentario de implementación.
    - Esta mejora sólo fue una propuesta, debido a la limitación de tiempo durante la estancia en la planta, por el tiempo destinado a la

recopilación, organización y análisis de la información necesaria para estructurar adecuadamente el proyecto.

A pesar de que la implementación hasta la segunda fase de SMED, aún no se ha aplicado completamente, las tres propuestas presentadas permiten vislumbrar una mejora significativa en la eficiencia del proceso de cambio de bandas. Con base en estas propuestas, se plantea la posibilidad de reducir el número de operaciones y aumentar el tiempo efectivo de operación.

Se proyecta que **el tiempo de cambio de banda (Sección 3.12.2.1) puede disminuir de 414 segundos** (6.9 minutos) **a un tiempo estimado de 377 segundos** (6.28 minutos), lo que representa una mejora de 37 segundos. Los resultados proyectados de esta actualización se presentan en la Tabla 3.60.

3.12.4 Fase 3: Mejoramiento de actividades del cambio de bandas

Para esta última fase de SMED se propuso optimizar el proceso de cambio de bandas en las lijadoras mediante las siguientes acciones:

- Mejoramiento de actividades internas.
- Mejoramiento de actividades externas.

3.12.4.1 Mejoramiento de actividades internas

Para identificar aquellas actividades internas, que pudieran optimizarse, se realizaron las siguientes acciones, en colaboración del personal operativo:

Tabla 3.60. Separación actualizada de actividades internas y externas. (fuente: elaboración propia).

No.	Actividades Internas	Tiempo (Segundos)
1	Aflojar tornillo de seguridad de manubrio de ajuste.	16
2	Aflojar cabezal.	22
3	Retirar banda usada.	14
4	Limpiar caja (Zona donde se afloja banda).	22
5	Meter banda lijadora.	56
6	Colocar banda en posición correcta.	11
7	Ajustar banda.	20
8	Calibrar banda (tensión y centrado).	22
9	Realizar calibración para producción.	194
	Total:	377

No.	Actividades Externas	Tiempo (Segundos)
1	Ir por banda lijadora.	12
2	Abrir puerta de acceso.	7
3	Ir apagar máquina.	6
4	Inspección de banda usada.	14
5	Cerrar puerta de acceso.	6
6	Asegurar manubrio.	17
	Total:	62

1. Análisis de actividades internas.

   Se analizaron detalladamente las actividades internas descritas en la **¡Error! No se e ncuentra el origen de la referencia.**, y se identificaron cinco actividades internas que presentaban oportunidades de mejora. Las actividades susceptibles de optimización fueron las siguientes:

   1) Actividad 1: Aflojar tornillo de seguridad del manubrio de ajuste.
   2) Actividad 2: Aflojar cabezal.
   3) Actividad 4: Limpiar caja (zona donde se afloja la banda).
   4) Actividad 8: Calibrar banda (tensión y centrado).
   5) Actividad 9: Realizar calibración para producción.

2. Recopilación de propuestas del personal operativo.

   A partir del análisis realizado en el paso 1, en el que se identificaron cinco actividades internas susceptibles de optimización, se mantuvieron conversaciones con el personal operativo en turno. Durante estas sesiones, se recogieron sus propuestas y sugerencias sobre cómo mejorar la eficiencia de las actividades mencionadas. Esta información fue clave para el desarrollo de las propuestas de mejora que se detallan en el paso 3.

3. Desarrollo de propuestas y acciones para la optimización.

   Con base en el análisis realizado en los pasos anteriores y a las sugerencias recabadas del personal operativo, se han identificado varias oportunidades de mejora en las cinco actividades internas. La Tabla 3.61 presenta las propuestas específicas para

optimizar cada actividad y destaca las deficiencias actuales. Cabe señalar que, debido a las limitaciones de tiempo durante la recopilación de información en la planta, las mejoras propuestas no fueron implementadas, pero constituyen una base sólida para futuros ensayos y ajustes.

3.12.4.2 Mejoramiento de actividades externas

Para identificar aquellas actividades externas, que pudieran optimizarse, se realizaron las siguientes acciones, en colaboración del personal operativo:

1. Análisis de actividades externas.

   Se analizaron detalladamente las actividades externas descritas en la **¡Error! No se e ncuentra el origen de la referencia.**, y se identificó que las seis actividades externan presentaban oportunidades de mejora.

Tabla 3.61. Comentario y propuestas de mejora para actividades internas. (fuente: elaboración propia).

No.	Actividad	Deficiencia actual	Propuesta de Mejora
1	Aflojar tornillo de seguridad del manubrio de ajuste.	El tornillo tipo Allen mantiene fijo el cabezal, lo que puede generar demoras si no se dispone de la herramienta adecuada.	Reemplazar el tornillo Allen por un sistema de ajuste rápido.
2	Aflojar cabezal.	El cabezal se encuentra bajo tensión, lo que requiere el uso de herramientas adicionales.	Instalar un sistema de liberación rápida de tensión.
4	Limpiar caja (zona donde se afloja la banda).	La limpieza de la caja es necesaria para evitar problemas en el ajuste del cabezal.	Establecer limpieza preventiva antes del cambio de banda.
8	Calibrar banda (tensión y centrado).	La calibración asegura que la banda esté centrada y operativa, evitando accidentes.	Implementar marcas visuales de referencia y sistemas de auto alineación.
9	Realizar calibración para producción.	La calibración asegura la uniformidad en el pulido del machete, evitando reajustes.	Estandarizar el procedimiento mediante una guía visual o plantilla.

2. Recopilación de propuestas del personal operativo.

   A partir del análisis realizado en el paso 1, en el que se identificó que las seis actividades externas eran susceptibles de optimización, se mantuvieron conversaciones con el personal operativo en turno. Durante estas sesiones, se recogieron sus propuestas y sugerencias sobre cómo mejorar la eficiencia de las

actividades mencionadas. Esta información fue clave para el desarrollo de las propuestas de mejora que se detallan en el paso 3.

3. Desarrollo de propuestas y acciones para la optimización.

   Con base en análisis realizado en los pasos anteriores y a las sugerencias recabadas del personal operativo, se identificaron propuestas de mejora en las actividades externas. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta las p ropuestas de mejora, específicas para optimizar cada actividad, y destaca las deficiencias actuales. Cabe señalar que, debido a las limitaciones de tiempo durante la recopilación de información en la planta, las mejoras propuestas no fueron implementadas, pero constituyen una base sólida para futuros ensayos y ajustes.

Tabla 3.62. Comentario y propuestas de mejora para actividades externas. (fuente: elaboración propia).

No.	Actividad	Deficiencia actual	Propuesta de Mejora
1	Ir por banda lijadora.	Al realizar el cambio de banda, se camina hasta el área de donde están ubicadas, pero cuando no hay abastecimiento deben de ir al almacén.	Ubicar las bandas en un lugar más cercano a la máquina para reducir desplazamientos. También se recomienda establecer un sistema de reposición al inicio o fin de cada turno.
2	Apagar máquina.	Solo hay un botón de apagado en uno de los extremos de la máquina, el cual corta la alimentación eléctrica.	Instalar un botón de apagado en ambos extremos para evitar recorridos innecesarios.
3	Abrir puerta de acceso.	Se debe abrir la tapa del cabezal para cambiar la banda.	Mejorar el sistema de apertura para evitar trabas o dificultad al retirar el seguro.
4	Inspección de banda usada.	Se revisan las bandas desmontadas para verificar si pueden reutilizarse en otra máquina.	Eliminar esta actividad si todas las bandas desmontadas se reemplazan por nuevas y la inspección puede hacerse al final del turno.
5	Cerrar puerta de acceso.	Se cierra la tapa del cabezal para realizar ajustes.	Igual que en la apertura, se sugiere mejorar el sistema de cierre para facilitar el aseguramiento sin complicaciones.
6	Asegurar manubrio.	El seguro del manubrio tiende a trabarse, lo que dificulta su ajuste.	Instalar un sistema que permita fijar o aflojar fácilmente el manubrio sin necesidad de herramienta como llave Allen.

3.12.5 Fase 4: Presentación de resultados al jefe de ingeniería

En la fase final de la propuesta de implementación de SMED, se llevó a cabo una presentación detallada ante el jefe del área de ingeniería, donde se expusieron los resultados obtenidos del análisis exhaustivo del proceso de cambio de bandas en las lijadoras. La presentación se centró en las actividades internas y externas, y en las posibles modificaciones del proceso que podrían permitir un incremento en la eficiencia operativa, incluso si la mejora en el tiempo de cambio no es sustancial en esta etapa.

Aunque la reducción del tiempo de cambio de bandas se estima en una mejora de 37 segundos, esta cifra, aunque modesta, representa una base sobre la cual se pueden construir mejoras adicionales a lo largo del tiempo. Se resaltó que, si bien el impacto inmediato en la reducción de tiempo no es drástico, la optimización de las actividades internas y externas a través de SMED tiene el potencial de generar beneficios a largo plazo, tales como:

- Reducción del tiempo de inactividad de las máquinas, lo cual incrementaría la capacidad operativa global.
- Mejor gestión del personal, al reducir las tareas que requieren atención directa durante el cambio de banda, permitiendo que los operarios se concentren en otros aspectos del proceso.
- Mayor previsibilidad en la programación de producción, facilitando la planificación de mantenimiento y la asignación de recursos de forma más eficiente.

A pesar de que la implementación completa no fue posible debido a limitaciones de tiempo, se presentó una hoja de ruta clara para retomar este proyecto cuando las condiciones lo permitan. El jefe de ingeniería reconoció las oportunidades de mejora y mostró disposición para seguir evaluando la implementación de estas modificaciones a medida que se dispongan de más recursos y tiempo.

El proyecto dejó claramente establecido que la implementación de SMED es una inversión estratégica no solo en términos de tiempo, sino en una mejora continua que, aunque

incremental, contribuirá de manera significativa a la eficiencia operativa de la planta a largo plazo.

3.13 Implementar SMED para reducción de tiempos de cambio de troquel, de prensas

Con el propósito de reducir los tiempos de cambio de troqueles para prensas (Sección 3.8.3), se llevó a cabo implementación de SMED, adaptando las cuatro fases que conforman esta técnica, descritas en la Sección 2.7.2.2 y representadas en la **¡Error! No se encuentra el o rigen de la referencia.**.

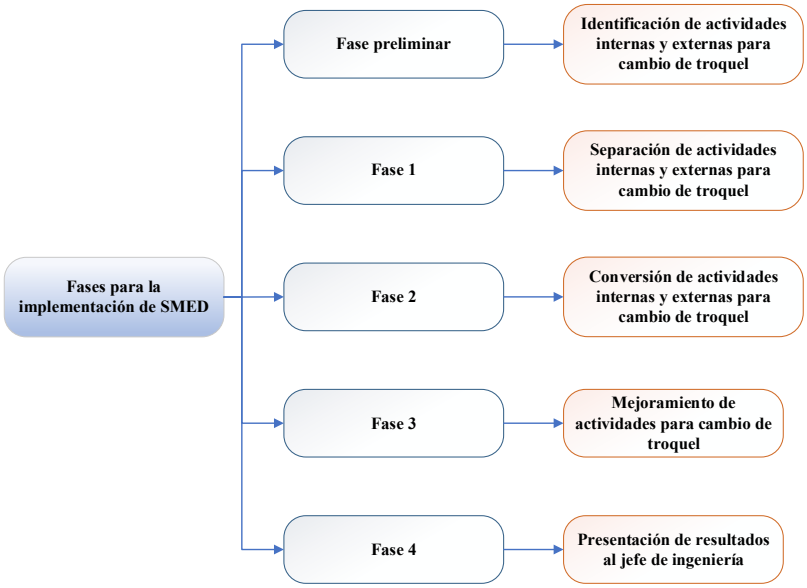


Figura 3.34. Fases para la implementación de SMED.
(fuente: elaboración propia).

3.13.1 Fase preliminar: Identificación de actividades internas y externas para cambio de troquel

En la fase preliminar de la aplicación de SMED, se buscó identificar y clasificar las actividades internas y externas que el personal realiza durante el cambio de banda en la máquina lijadora. Para cumplir con este objetivo, se llevaron a cabo las siguientes acciones:

- Elaboración de diagrama de flujo del proceso de cambio de banda.

- Identificación de actividades internas y externas del proceso de cambio actual.
- Medición de porcentajes de contribución de las actividades de preparación.

3.13.1.1 Elaboración de diagrama de flujo del proceso de cambio de banda

Para establecer un proceso organizado y detallado para el cambio de troquel en las prensas, se utilizó la información previamente documentada en la Sección 3.8.3.1. Con base en esta referencia, se identificaron las actividades específicas involucradas en el procedimiento de cambio de troquel. Posteriormente, se elaboró el diagrama de flujo del proceso de cambio de banda, que se presenta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. Este d iagrama permitió visualizar de forma clara y estructurada las actividades, desde la recepción de la orden hasta la finalización del ajuste en la máquina.

Tabla 3.63. Diagrama de flujo de cambio de troquel de prensas.
(fuente: elaboración propia).

DIAGRAMA DE FLUJO DE TRABAJO
CAMBIO DE TROQUEL DE PRENSAS

Resumen		
	Tipo de actividad	**Número**
	Operación	20
	Transporte	6
	Inspección	4
	Demora	2
	Almacenamiento	0
Tiempo total: 64.71 minutos		32

Datos	
Pagina:	1 de 1
Enfoque:	Actual
Empresa:	TecnoMetal S.A de C.V.
Proceso:	Prensas
Elaboró:	Israel Paredes Lino
Aprobó:	José Iván Vázquez Solano
Fecha:	14/05/24

No.	Detalles del método (Actual)	Operación.	Trasporte.	Inspección.	Demora.	Almacén.	Tiempo (Minutos)
1	Recibir orden para cambio de troquel.	●	➡	■	D	▼	0.33
2	Buscar la herramienta necesaria para el cambio de troquel.	●	➡	■	D	▼	0.49
3	Llevar el elevador y la herramienta a la prensa para retirar el troquel.	●	➡	■	D	▼	1.54
4	Subir el elevador al nivel del troquel móvil para su desmontaje.	●	➡	■	D	▼	0.97
5	Desatornillar los dos tornillos frontales del troquel móvil.	●	➡	■	D	▼	1.96
6	Ajustar el elevador al troquel móvil.	●	➡	■	D	▼	0.48
7	Recorrer a la parte posterior de la prensa para desatornillar la tornillería.	●	➡	■	D	▼	0.18
8	Desatornillar los dos tornillos posteriores del troquel móvil.	●	➡	■	D	▼	3.63
9	Bajar el elevador con el troquel móvil hasta retirarlo de la mesa.	●	➡	■	D	▼	0.24
10	Descender el elevador hasta el nivel del suelo con el troquel móvil.	●	➡	■	D	▼	1.81
11	Llevar el troquel móvil al área de maquinados para mantenimiento y colocarlo en el lugar asignado.	●	➡	■	D	▼	3.94
12	Ir por el troquel fijo.	●	➡	■	D	▼	2.71
13	Colocar el elevador al nivel de la mesa de la prensa.	●	➡	■	D	▼	1.55
14	Desatornillar y retirar los dos tornillos que sujetan el troquel fijo.	●	➡	■	D	▼	2.71
15	Empujar el troquel fijo hasta colocarlo en el elevador.	●	➡	■	D	▼	1.81
16	Bajar el elevador con el troquel fijo hasta el nivel del suelo.	●	➡	■	D	▼	0.71
17	Llevar troquel fijo usado al área de maquinados para su mantenimiento.	●	➡	■	D	▼	3.85
18	Colocar el elevador a la altura del rack donde se encuentra el troquel a instalar.	●	➡	■	D	▼	1.81
19	Llevar el troquel a la prensa.	●	➡	■	D	▼	3.63
20	Elevar el troquel hasta la base de la prensa.	●	➡	■	D	▼	2.71
21	Empujar hasta colocarlo en la mesa.	●	➡	■	D	▼	1.81
22	Retirar el elevador.	●	➡	■	D	▼	1.44
23	Configurar la máquina en modo semiautomático.	●	➡	■	D	▼	0.17
24	Calibrar la altura de la máquina.	●	➡	■	D	▼	0.73
25	Alinear la base de la biela al ras del troquel móvil para su fijación.	●	➡	■	D	▼	2.71
26	Colocar los cuatro tornillos sin apretarlos completamente.	●	➡	■	D	▼	3.63
27	Fijar el troquel fijo a la mesa de la prensa.	●	➡	■	D	▼	2.71
28	Realizar un ciclo automático.	●	➡	■	D	▼	1.81
29	Ajustar la máquina y apretar los seis tornillos con ayuda de una palanca.	●	➡	■	D	▼	4.53
30	Tomar una hoja de papel para calibrar el corte del troquel.	●	➡	■	D	▼	0.90
31	Aflojar un tornillo para realizar el ajuste necesario.	●	➡	■	D	▼	1.81
32	Realizar pruebas de corte con la lámina.	●	➡	■	D	▼	5.44
	Total:	20	6	4	2	0	64.75

3.13.1.2 Identificación de actividades internas y externas del proceso de cambio actual

Con el objetivo de identificar cuáles actividades, del proceso de cambio de troquel en las prensas, pueden realizarse con la máquina apagada (actividades internas) y cuáles deben efectuarse con la máquina en funcionamiento (actividades externas), se analizaron las actividades del diagrama de flujo (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), m ostradas en la Sección 3.13.1.1.

Con este objetivo, se consultó directamente a los operadores de las máquinas para identificar cada actividad como interna o externa, basándose tanto en su experiencia, como en lo observado durante el proceso. La Tabla 3.64 muestra los resultados.

3.13.1.3 Cálculo de porcentajes de contribución de las actividades de preparación

En esta etapa se calcularon los porcentajes de contribución de cada actividad con el objetivo de comprender por qué algunas presentan un valor elevado. Los resultados que se presentan en la Tabla 3.65 y Tabla 3.66 se obtuvieron mediante las siguientes acciones:

Tabla 3.64. Identificación de actividades internas y externas (a) actividades de la 1 a la 16 (b) actividades de la 17-32.
(fuente: elaboración propia).

(a) *(b)*

No.	Actividad	Tipo de Operación
1	Recibir orden para cambio de troquel.	Externa
2	Buscar la herramienta necesaria para el cambio de troquel.	Externa
3	Llevar el elevador y la herramienta a la prensa para retirar el troquel.	Externa
4	Subir el elevador al nivel del troquel móvil para su desmontaje.	Externa
5	Desatornillar los dos tornillos frontales del troquel móvil.	Interna
6	Ajustar el elevador al troquel móvil.	Interna
7	Recorrer a la parte posterior de la prensa para desatornillar la tornillería.	Interna
8	Desatornillar los dos tornillos posteriores del troquel móvil.	Interna
9	Bajar el elevador con el troquel móvil hasta retirarlo de la mesa.	Interna
10	Descender el elevador hasta el nivel del suelo con el troquel móvil.	Interna
11	Llevar el troquel móvil al área de maquinados para mantenimiento y colocarlo en el lugar asignado.	Interna
12	Ir por el troquel fijo.	Interna
13	Colocar el elevador al nivel de la mesa de la prensa.	Interna
14	Desatornillar y retirar los dos tornillos que sujetan el troquel fijo.	Interna
15	Empujar el troquel fijo hasta colocarlo en el elevador.	Interna
16	Bajar el elevador con el troquel fijo hasta el nivel del suelo.	Interna

No.	Actividad	Tipo de Operación
17	Llevar troquel fijo usado al área de maquinados para su mantenimiento.	Interna
18	Colocar el elevador a la altura del rack donde se encuentra el troquel a instalar.	Interna
19	Llevar el troquel a la prensa.	Interna
20	Elevar el troquel hasta la base de la prensa.	Interna
21	Empujar hasta colocarlo en la mesa.	Interna
22	Retirar el elevador.	Interna
23	Configurar la máquina en modo semiautomático.	Interna
24	Calibrar la altura de la máquina.	Interna
25	Alinear la base de la biela al ras del troquel móvil para su fijación.	Interna
26	Colocar los cuatro tornillos sin apretarlos completamente.	Interna
27	Fijar el troquel fijo a la mesa de la prensa.	Interna
28	Realizar un ciclo automático.	Externa
29	Ajustar la máquina y apretar los seis tornillos con ayuda de una palanca.	Interna
30	Tomar una hoja de papel para calibrar el corte del troquel.	Externa
31	Aflojar un tornillo para realizar el ajuste necesario.	Externa
32	Realizar pruebas de corte con la lámina.	Externa

Tabla 3.65. Porcentajes de contribución de la actividad 1 a la 16 para cambio de troquel en prensas. (fuente: elaboración propia).

No.	Actividad	Tiempo promedio (Segundos)	Porcentaje de Contribución	¿Por qué presenta un porcentaje de contribución alto?
1	Recibir orden para cambio de troquel.	19.83	0.51%	El tiempo corresponde a la conversación con el supervisor para confirmar la referencia que se trabajará en el siguiente turno.
2	Buscar la herramienta necesaria para el cambio de troquel.	29.50	0.76%	Si la herramienta no se encuentra en el área de trabajo ni se mantiene a la mano, se invierte tiempo en buscarla.
3	Llevar el elevador y la herramienta a la prensa para retirar el troquel.	92.67	2.39%	El traslado del elevador y la herramienta hasta la prensa requiere tiempo debido a que el cambio de troqueles lo realiza un solo operador, y la distancia al centro de maquinados es de aproximadamente 30 metros.
4	Subir el elevador al nivel del troquel móvil para su desmontaje.	58.00	1.49%	La elevación del troquel se realiza con un sistema hidráulico, el cual es activado mediante un pedal; esto toma tiempo debido al tipo de mecanismo utilizado
5	Desatornillar los dos tornillos frontales del troquel móvil.	117.50	3.03%	Se requiere tiempo considerable para aflojar los tornillos, ya que se hace manualmente con una llave mixta y cada tornillo mide aproximadamente 200 mm.
6	Ajustar el elevador al troquel móvil.	28.83	0.74%	El elevador debe ajustarse nuevamente para asegurar que el troquel quede asentado correctamente en las uñas.
7	Recorrer a la parte posterior de la prensa para desatornillar la tornillería.	10.67	0.27%	Se necesita caminar hacia la parte posterior de la prensa para acceder a la tornillería, lo que incrementa ligeramente el tiempo.
8	Desatornillar los dos tornillos posteriores del troquel móvil.	217.50	5.60%	El aflojado de los tornillos posteriores también se realiza manualmente con una llave mixta. Al ser tornillos largos (200 mm), la operación toma tiempo.
9	Bajar el elevador con el troquel móvil hasta retirarlo de la mesa.	14.17	0.36%	El retiro del troquel móvil de la mesa es rápido, siempre que las uñas del elevador estén bien colocadas.
10	Descender el elevador hasta el nivel del suelo con el troquel móvil.	108.33	2.79%	Aunque se trata de una actividad con cierto tiempo de duración, el uso de una palanca y un sistema hidráulico permite que el descenso del elevador con el troquel sea más ágil.
11	Llevar el troquel móvil al área de maquinados para mantenimiento y colocarlo en el lugar asignado.	236.17	6.08%	El traslado hasta el área de maquinados implica recorrer una distancia considerable y maniobrar con polines para colocar el troquel en su sitio asignado.
12	Ir por el troquel fijo.	162.83	4.19%	Este trayecto se repite, ya que el operador debe volver al área de prensas para continuar con el cambio de troquel.
13	Colocar el elevador al nivel de la mesa de la prensa.	93.00	2.40%	El tiempo se debe a que nuevamente se realiza la elevación de las uñas mediante un sistema hidráulico, lo cual requiere una operación mecánica y física adicional.
14	Desatornillar y retirar los dos tornillos que sujetan el troquel fijo.	162.83	4.19%	El retiro de los tornillos del troquel fijo se hace con una llave mixta. Al ser tornillos largos, esta actividad también demanda tiempo.
15	Empujar el troquel fijo hasta colocarlo en el elevador.	108.33	2.79%	Como el troquel fijo se encuentra a nivel de mesa y es pesado, se requiere empujarlo manualmente hasta colocarlo en el elevador, lo cual toma tiempo.
16	Bajar el elevador con el troquel fijo hasta el nivel del suelo.	42.50	1.09%	El descenso del troquel hasta el suelo se facilita con una palanca y sistema hidráulico, lo que agiliza esta actividad.

Tabla 3.66. Porcentajes de contribución de la actividad 17 a la 32 para cambio de troquel en prensas.

(fuente: elaboración propia).

No.	Actividad	Tiempo promedio (Segundos)	Porcentaje de Contribución	¿Por qué presenta un porcentaje de contribución alto?
17	Llevar troquel fijo usado al área de maquinados para su mantenimiento.	231.00	5.95%	El traslado hasta el área de maquinados implica recorrer una distancia considerable con el peso adicional del troquel fijo.
18	Colocar el elevador a la altura del rack donde se encuentra el troquel a instalar.	108.33	2.79%	El tiempo se debe a que nuevamente se realiza la elevación de las uñas mediante un sistema hidráulico, lo cual requiere una operación física.
19	Llevar el troquel a la prensa.	217.50	5.60%	El traslado hasta el área de prensas implica recorrer una distancia considerable con el peso adicional del troquel fijo y móvil.
20	Elevar el troquel hasta la base de la prensa.	162.83	4.19%	El tiempo se debe a que nuevamente se realiza la elevación de las uñas mediante un sistema hidráulico a nivel de la mesa, con ambas partes del troquel.
21	Empujar hasta colocarlo en la mesa.	108.33	2.79%	Es necesario alinear cuidadosamente el troquel con los agujeros de fijación en la mesa, lo cual demanda tiempo y precisión.
22	Retirar el elevador.	86.50	2.23%	Esta actividad implica bajar las uñas del elevador y retirarlo del área de trabajo, para liberar el espacio.
23	Configurar la máquina en modo semiautomático.	10.17	0.26%	Se cambia el modo de accionamiento de la prensa para alinear los orificios de sujeción al troquel, de una manera controlada.
24	Calibrar la altura de la máquina.	43.50	1.12%	Se ajusta la altura de la máquina para facilitar la colocación de la tornillería
25	Alinear la base de la biela al ras del troquel móvil para su fijación.	162.83	4.19%	Esta actividad requiere precisión para que coincidan los orificios de fijación, utilizando una palanca para facilitar la maniobra.
26	Colocar los cuatro tornillos del troquel móvil sin apretarlos completamente.	217.50	5.60%	Se colocan los 4 tornillos de 200 mm en sus respectivos lugares, pero no se aprietan con llave mixta, únicamente con la fuerza de la mano.
27	Fijar el troquel fijo a la mesa de la prensa.	162.83	4.19%	Cuando el troquel está en la posición correcta, se coloca su tornillería, pero se aprieta con la fuerza de la mano.
28	Realizar un ciclo automático.	108.33	2.79%	Se realiza un ciclo automático para que el troquel se ajuste y se alinee por sí solo.
29	Ajustar la máquina y apretar los seis tornillos con ayuda de una palanca.	272.00	7.01%	Una vez que el troquel está correctamente alineado y los ciclos automáticos se han realizado sin inconvenientes, se procede a apretar los tornillos. Se utiliza un tubo adaptado a la llave para aplicar mayor torque y asegurar que los tornillos queden firmemente sujetos
30	Tomar una hoja de papel para calibrar el corte del troquel.	53.83	1.39%	Se realiza la calibración del corte por medio de una hoja de papel, para asegurar el corte en la lámina.
31	Aflojar un tornillo para realizar el ajuste necesario.	108.33	2.79%	Se afloja un tornillo que se tiene en la máquina que permite subir la biela de manera mas preciso para asegurar la calibración
32	Realizar pruebas de corte con la lámina.	326.33	8.40%	Esta operación se lleva tiempo debido a que se realizan ajustes para que el corte en la lámina no haya problema y así asegurar una producción en serie estable.
Total:		3882.83	100%	

- Se tomó el tiempo promedio de los ciclos, descritos en la Sección 3.8.3.2, redondeándolo al valor más próximo y registrándolo en la columna *"Tiempo promedio (segundos)"*.
- Se calculó el porcentaje de contribución dividiendo el tiempo promedio requerido para completar cada actividad entre la suma total del tiempo de todas las actividades, registrando el resultado en la columna *"Porcentaje de contribución"*.
- Se mantuvieron conversaciones con el personal operativo para identificar factores que influyen en el tiempo de ejecución de cada actividad, y se documentaron en la columna *"¿Por qué presenta un porcentaje de contribución alto?"*

3.13.2 Fase 1: Separación de actividades internas y externas para el cambio de troquel

Para separar y clasificar las actividades involucradas en el cambio de troquel en prensas, y asegurar que cada una se realice de manera adecuada, se planteó la aplicación de la primera fase de SMED mediante las siguientes acciones:

- Identificación y separación de actividades internas y externas para cambio de troquel.

- Elaboración de una lista de verificación para controlar y ejecutar las actividades del cambio de troquel.

3.13.2.1 Identificación y separación de actividades internas y externas para cambio de troquel

Con el objetivo de optimizar el proceso de cambio de troquel en prensas, se realizó una clasificación detallada de las actividades involucradas, diferenciándolas como internas o externas. Esta clasificación quedó reflejada en la Tabla 3.67, la cual incluye:

- El orden de ejecución de las actividades, junto con el tiempo requerido para cada una.
- El tiempo total destinado a las actividades de preparación internas.
- El tiempo total correspondiente a las actividades de preparación externas.

Tabla 3.67. Separación de actividades internas y externas. (fuente: elaboración propia).

Orden	Actividades Externas	Tiempo (Segundos)
1	Recibir orden para cambio de troquel.	0.33
2	Buscar la herramienta necesaria para el cambio de troquel.	0.49
3	Llevar el elevador y la herramienta a la prensa para retirar el troquel.	1.54
30	Tomar una hoja de papel para calibrar el corte del troquel.	0.90
Total		3.26

Orden	Actividades Internas	Tiempo (Segundos)
5	Desatornillar los dos tornillos frontales del troquel móvil.	1.96
4	Subir el elevador al nivel del troquel móvil para su desmontaje.	0.97
6	Ajustar el elevador al troquel móvil.	0.48
7	Recorrer a la parte posterior de la prensa para desatornillar la tornillería.	0.18
8	Desatornillar los dos tornillos posteriores del troquel móvil.	3.63
9	Bajar el elevador con el troquel móvil hasta retirarlo de la mesa.	0.24
10	Descender el elevador hasta el nivel del suelo con el troquel móvil.	1.81
11	Llevar el troquel móvil al área de maquinados para mantenimiento y colocarlo en el lugar asignado.	3.94
12	Ir por el troquel fijo.	2.71
13	Colocar el elevador al nivel de la mesa de la prensa.	1.55
14	Desatornillar y retirar los dos tornillos que sujetan el troquel fijo.	2.71
15	Empujar el troquel fijo hasta colocarlo en el elevador.	1.81
16	Bajar el elevador con el troquel fijo hasta el nivel del suelo.	0.71
17	Llevar troquel fijo usado al área de maquinados para su mantenimiento.	3.85
18	Colocar el elevador a la altura del rack donde se encuentra el troquel a instalar.	1.81
19	Llevar el troquel a la prensa.	3.63
20	Elevar el troquel hasta la base de la prensa.	2.71
21	Empujar hasta colocarlo en la mesa.	1.81
22	Retirar el elevador.	1.44
23	Configurar la máquina en modo semiautomático.	0.17
24	Calibrar la altura de la máquina.	0.73
25	Alinear la base de la biela al ras del troquel móvil para su fijación.	2.71
26	Colocar los cuatro tornillos sin apretarlos completamente.	3.63
27	Fijar el troquel fijo a la mesa de la prensa.	2.71
28	Realizar un ciclo automático.	1.81
29	Ajustar la máquina y apretar los seis tornillos con ayuda de una palanca.	4.53
31	Aflojar un tornillo para realizar el ajuste necesario.	1.81
32	Realizar pruebas de corte con la lámina.	5.44
	Total	61.49

A partir de los resultados de la Tabla 3.67, se estimó que es posible disponer de **3.26 minutos adicionales de funcionamiento de la máquina, al reducirse el tiempo total del cambio de troquel en prensas de 64.75 a 61.49 minutos.**

3.13.2.2 Elaboración de una lista de verificación para controlar y ejecutar las actividades del cambio de troquel

Como parte de la mejora en el proceso de cambio de troquel en prensas, se elaboró una lista de verificación con el objetivo de facilitar, al supervisor y al responsable de línea, el control y seguimiento de las actividades clasificadas como internas o externas; esto se muestra en la Tabla 3.68. Asimismo, se recalcó que el personal debe realizar las actividades externas antes de apagar la máquina.

Tabla 3.68. Lista de verificación de actividades de cambio de troquel en prensas. (fuente: elaboración propia).

Empresa:	TecnoMetal S.A de C. V	Acción:	Cambio de troquel para prensas	Fecha:	
Elaboró:		Operador:		Turno:	

Lista de verificación de actividades, cambio de troquel para prensas.

No.	Actividades Externa	¡Se realizó la actividad?	
1	Recibir orden para cambio de troquel.	Si	No
2	Buscar la herramienta necesaria para el cambio de troquel.	Si	No
3	Llevar el elevador y la herramienta a la prensa para retirar el troquel.	Si	No
4	Tomar una hoja de papel para calibrar el corte del troquel.	Si	No

No.	Actividades Internas	¡Se realizó la actividad?	
1	Desatornillar los dos tornillos frontales del troquel móvil.	Si	No
2	Ajustar el elevador al troquel móvil.	Si	No
3	Subir el elevador al nivel del troquel móvil para su desmontaje.	Si	No
4	Recorrer a la parte posterior de la prensa para desatornillar la tornillería.	Si	No
5	Desatornillar los dos tornillos posteriores del troquel móvil.	Si	No
6	Bajar el elevador con el troquel móvil hasta retirarlo de la mesa.	Si	No
7	Descender el elevador hasta el nivel del suelo con el troquel móvil.	Si	No
8	Llevar el troquel móvil al área de maquinados para mantenimiento y colocarlo en el lugar asignado.	Si	No
9	Ir por el troquel fijo.	Si	No
10	Colocar el elevador al nivel de la mesa de la prensa.	Si	No
11	Desatornillar y retirar los dos tornillos que sujetan el troquel fijo.	Si	No
12	Empujar el troquel fijo hasta colocarlo en el elevador.	Si	No
13	Bajar el elevador con el troquel fijo hasta el nivel del suelo.	Si	No
14	Llevar troquel fijo usado al área de maquinados para su mantenimiento.	Si	No
15	Colocar el elevador a la altura del rack donde se encuentra el troquel a instalar.	Si	No
16	Llevar el troquel a la prensa.	Si	No
17	Elevar el troquel hasta la base de la prensa.	Si	No
18	Empujar hasta colocarlo en la mesa.	Si	No
19	Retirar el elevador.	Si	No
20	Configurar la máquina en modo semiautomático.	Si	No
21	Calibrar la altura de la máquina.	Si	No
22	Alinear la base de la biela al ras del troquel móvil para su fijación.	Si	No
23	Colocar los cuatro tornillos sin apretarlos completamente.	Si	No
24	Fijar el troquel fijo a la mesa de la prensa.	Si	No
25	Realizar un ciclo automático.	Si	No
26	Ajustar la máquina y apretar los seis tornillos con ayuda de una palanca.	Si	No
27	Aflojar un tornillo para realizar el ajuste necesario.	Si	No
28	Realizar pruebas de corte con la lámina.	Si	No

3.13.3 Fase 2: Conversión de actividades internas en externas del cambio troquel para prensas

Para la implementación de la segunda fase de SMED, con el objetivo de convertir las actividades internas en externas, mostradas en la Tabla 3.68, se contó con la colaboración del personal operativo del área de machetes. Con base en este apoyo se decidió que las actividades que pueden convertirse en externas, así como un comentario de su análisis y la implementación a realizarse, se muestra a continuación:

- Actividad 22: Retirar el elevador.

    - Comentario:
        - Cuando el elevador deja de ser necesario en el proceso, se debe buscar un espacio adecuado para colocarlo.
        - Se genera pérdida de tiempo cuando el operador se ve obligado a buscar una ubicación improvisada.
    - Mejora:
        - Si el elevador ya no se está utilizando con el troquel y no hay riesgo, esta acción podría realizarse mientras se hace algún otro ajuste.
    - Comentario de implementación.
        - Esta actividad fue sustituida por el uso de un montacargas, eliminando la necesidad del elevador. Esto se tomó principalmente por razones de seguridad hacia el personal.
- Actividad 23: Configurar la máquina en modo semiautomático
    - Comentario:
        - Esta acción consiste en ajustar el modo de operación de la prensa para realizar pruebas de corte o movimientos controlados durante el cambio de troquel.
        - Suele ejecutarse una vez instalado el nuevo troquel y con la máquina detenida.
    - Mejora:
        - La configuración de modo semiautomático podría realizarse antes de comenzar con el montaje del troquel.
        - Se pude realizar en paralelo con otras actividades internas o incluso como parte de una rutina previa antes del paro de la máquina.
    - Comentario de implementación.
        - Se evaluó la posibilidad de adelantar esta configuración, ya sea durante el desarrollo del cambio de troquel o bien desde su inicio.

Con la implementación de la segunda fase de SMED, se llevaron a cabo las dos propuestas de mejora planteadas, lo cual permitió obtener una mejora significativa en el cambio de

troquel en prensas. A partir de estas acciones, fue posible reducir el número de actividades necesarias y aumentar el tiempo efectivo de operación.

Como resultado de la implementación de la fase preliminar y la fase 1 y 2 de SMED, se obtuvieron mejoras progresivas en el tiempo total del cambio de troquel. En la fase preliminar, correspondiente al desarrollo del diagrama de flujo del proceso (Sección 3.13.1.1), se registró un tiempo inicial de 64.75 minutos. En la Fase 1, que consistió en la separación de actividades internas y externas (Sección 3.13.2.1), el tiempo se redujo a 61.49 minutos, lo que representa una disminución de 3.26 minutos.

En la Fase 2, enfocada en la conversión de actividades internas en externas (Sección 3.13.3), se modificaron dos actividades, permitiendo reducir aún más el tiempo de 61.49 minutos a 59.88 minutos (1.61 minutos). Hasta esta etapa se alcanzó una reducción acumulada de 4.87 minutos respecto al tiempo inicial. Los resultados obtenidos tras esta actualización se presentan en la Tabla 3.69.

3.13.4 Fase 3: Mejoramiento de actividades del cambio de troquel

Para esta última fase de SMED para optimizar el proceso de cambio de troquel en prensas se realizaron las siguientes acciones:

- Mejoramiento de actividades internas.
- Mejoramiento de actividades externas.

3.13.4.1 Mejoramiento de actividades internas

Para identificar aquellas actividades internas, que pudieran optimizarse, se realizaron las siguientes acciones, en colaboración del personal operativo:

1. Análisis de actividades internas.
   Se analizaron detalladamente las actividades internas descritas en la **¡Error! No se e ncuentra el origen de la referencia.**, y se identificaron las siguientes catorce actividades internas que presentaban oportunidades de mejora:

Tabla 3.69. Separación actualizada de actividades internas y externas. (fuente: elaboración propia).

Orden	Actividades Externas	Tiempo (Segundos)
1	Recibir orden para cambio de troquel.	0.33
2	Buscar la herramienta necesaria para el cambio de troquel.	0.49
3	Llevar el elevador y la herramienta a la prensa para retirar el troquel.	1.54
4	Tomar una hoja de papel para calibrar el corte del troquel.	0.90
5	Retirar el elevador.	1.44
6	Configurar la máquina en modo semiautomático.	0.17
Total		4.87

Orden	Actividades Internas	Tiempo (Segundos)
1	Desatornillar los dos tornillos frontales del troquel móvil.	1.96
2	Subir el elevador al nivel del troquel móvil para su desmontaje.	0.97
3	Ajustar el elevador al troquel móvil.	0.48
4	Recorrer a la parte posterior de la prensa para desatornillar la tornillería.	0.18
5	Desatornillar los dos tornillos posteriores del troquel móvil.	3.63
6	Bajar el elevador con el troquel móvil hasta retirarlo de la mesa.	0.24
7	Descender el elevador hasta el nivel del suelo con el troquel móvil.	1.81
8	Llevar el troquel móvil al área de maquinados para mantenimiento y colocarlo en el lugar asignado.	3.94
9	Ir por el troquel fijo.	2.71
10	Colocar el elevador al nivel de la mesa de la prensa.	1.55
11	Desatornillar y retirar los dos tornillos que sujetan el troquel fijo.	2.71
12	Empujar el troquel fijo hasta colocarlo en el elevador.	1.81
13	Bajar el elevador con el troquel fijo hasta el nivel del suelo.	0.71
14	Llevar troquel fijo usado al área de maquinados para su mantenimiento.	3.85
15	Colocar el elevador a la altura del rack donde se encuentra el troquel a instalar.	1.81
16	Llevar el troquel a la prensa.	3.63
17	Elevar el troquel hasta la base de la prensa.	2.71
18	Empujar hasta colocarlo en la mesa.	1.81
19	Calibrar la altura de la máquina.	0.73
20	Alinear la base de la biela al ras del troquel móvil para su fijación.	2.71
21	Colocar los cuatro tornillos sin apretarlos completamente.	3.63
22	Fijar el troquel fijo a la mesa de la prensa.	2.71
23	Realizar un ciclo automático.	1.81
24	Ajustar la máquina y apretar los seis tornillos con ayuda de una palanca.	4.53
25	Aflojar un tornillo para realizar el ajuste necesario.	1.81
26	Realizar pruebas de corte con la lámina.	5.44
	Total:	59.88

1) Actividad 1: Desatornillar los dos tornillos frontales del troquel móvil.
2) Actividad 2: Subir el elevador al nivel del troquel móvil para su desmontaje.
3) Actividad 5: Desatornillar los dos tornillos posteriores del troquel móvil.
4) Actividad 6: Bajar el elevador con el troquel móvil hasta retirarlo de la mesa.
5) Actividad 7: Descender el elevador hasta el nivel del suelo con el troquel móvil.
6) Actividad 8: Llevar el troquel móvil al área de maquinados para mantenimiento y colocarlo en el lugar asignado.

7) Actividad 10: Colocar el elevador al nivel de la mesa de la prensa.
8) Actividad 11: Desatornillar y retirar los dos tornillos que sujetan el troquel fijo.
9) Actividad 13: Bajar el elevador con el troquel fijo hasta el nivel del suelo.
10) Actividad 14: Llevar troquel fijo usando al área de maquinados para su mantenimiento.
11) Actividad 15: Colocar el elevador a la altura del rack donde se encuentra el troquel a instalar.
12) Actividad 16: Llevar el troquel a la prensa.
13) Actividad 17: Elevar el troquel hasta la base de la prensa.
14) Actividad 21: Colocar los cuatro tornillos sin apretarlos completamente.

2. Agrupación de actividades internas.

Con el objetivo de facilitar su análisis, las actividades internas, identificadas en el paso anterior, fueron clasificadas según el propósito de ejecución. Para ello, se elaboró un diagrama de afinidad que permitió clasificarlas de manera lógica. El resultado de esta agrupación se presenta en la Tabla 3.70.

Tabla 3.70. Diagrama de afinidad de actividades internas. (fuente: elaboración propia).

No. de grupo	Grupo	No. de actividad	Nombre de la actividad
1	Desmontaje de troquel	1	Desatornillar los dos tornillos frontales del troquel móvil.
		5	Desatornillar los dos tornillos posteriores del troquel móvil.
		11	Desatornillar y retirar los dos tornillos que sujetan el troquel fijo.
2	Movimientos de elevador	2	Subir el elevador al nivel del troquel móvil para su desmontaje.
		6	Bajar el elevador con el troquel móvil hasta retirarlo de la mesa.
		7	Descender el elevador hasta el nivel del suelo con el troquel.
		10	Colocar el elevador a nivel de la mesa de la prensa.
		13	Bajar el elevador con el troquel fijo hasta el nivel del suelo.
		15	Colocar el elevador a la altura del rack donde se encuentra el troquel a instalar.
		17	Elevar el troquel hasta la base de la prensa.
3	Traslado de troquel	8	Llevar el troquel móvil al área de maquinados para mantenimiento y colocarlo en el lugar designado.
		14	Llevar el troquel fijo al área de maquinados para su mantenimiento.
		16	Llevar el troquel a la prensa.

3. Recopilación de propuestas del personal operativo.

   A partir de la clasificación realizada en el paso 2, en el que se identificaron tres grupos susceptibles de optimización, se mantuvieron conversaciones con el personal operativo en turno. Durante estas sesiones, se recogieron sus propuestas y sugerencias sobre cómo mejorar la eficiencia de las actividades de cada grupo mencionados. Esta información fue clave para la implementación de las acciones de mejora que se detallan en el paso 4.

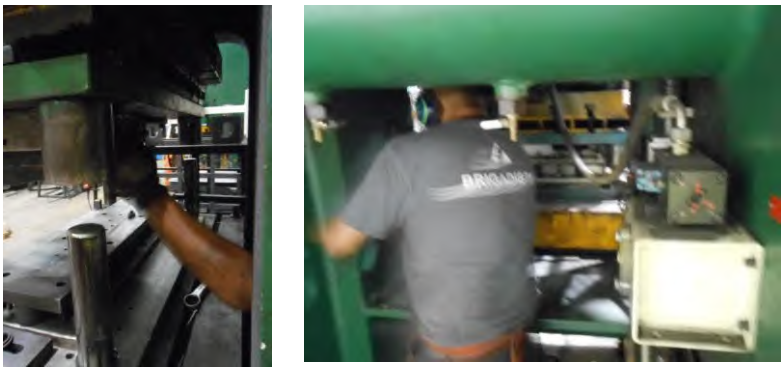
4. Implementación de acciones de mejora para la optimización.

   Con base en el análisis realizado en los pasos anteriores para cada uno de los tres grupos se realizaron comentarios de las deficiencias encontradas, se describieron las propuestas de mejora y finalmente, se describieron las acciones implementadas, tal como se muestra a continuación:

   - Grupo 1: Desmontaje de troquel.
     - Comentarios de las deficiencias encontradas:
       - ❖ Para retirar los tornillos frontales, de longitud de 20 cm, para cada una de las actividades (1, 5, y 11) se utiliza un tubo como extensión de una llave mixta como se muestra en la Figura 3.35.
       - ❖ Para retirar los tornillos traseros, de longitud de 20 cm, sólo para la actividad 5, también se utiliza un tubo como extensión de una llave mixta como se muestra en la Figura 3.36.

(a) *(b)*

Figura 3.35. Forma para retirar tornillería de troqueles en prensas (a) troquel móvil (b) troquel fijo.
(fuente: elaboración propia).



(a) *(b)*

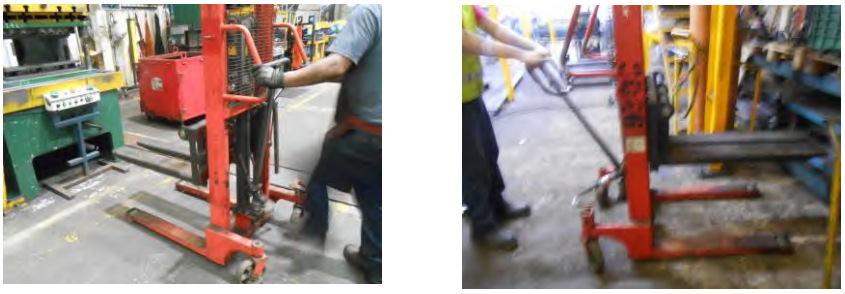
Figura 3.36. Retiro de tornillería posterior de troquel (a) forma manual (b) uso de llave con palanca. (fuente: elaboración propia).

- Propuesta de mejora:
  - ❖ Para agilizar el retiro de los tornillos, se recomienda sólo el uso de un desatornillador neumático (**¡Error! No se encuentra el origen de la r eferencia.**), aprovechando que en el área de prensas se cuenta con una toma de aire comprimido para su funcionamiento.
- Acciones implementadas.
  - ❖ Se implementó el uso de un desatornillador neumático, pero aun el operador utiliza las dos formas para aflojar la tornillería.
  - ❖ Falta continuar con la motivación para que sólo quede el uso de desatornillador neumático.

▪ Grupo 2: Movimientos de elevador (Actividades 2, 8, 13).

- Comentarios de las deficiencias encontradas:
  - ❖ Para cada una de estas actividades, es necesario subir o bajar las uñas del elevador hasta el nivel del troquel fijo o móvil para su retiro. El sistema de accionamiento es hidráulico y se opera manualmente mediante un pedal o una palanca, lo que permite elevar las uñas como se muestra en la Figura 3.38
  - ❖ Colocar las uñas del elevador a la altura adecuada para el troquel fijo o móvil requiere esfuerzo físico considerable, debido a las diferencias de altura que deben alcanzarse (Figura 3.39).

Figura 3.37. Desatornillador neumático para aflojar la tornillería. (fuente: elaboración propia).



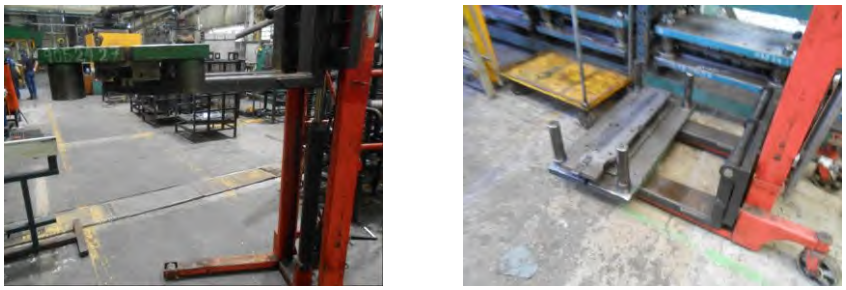
(a) *(b)*

Figura 3.38. Sistema de accionamiento de elevador (a) accionamiento por pedal (b) accionamiento por palanca. (fuente: elaboración propia).

(a) *(b)*

Figura 3.39. Altura de las uñas del elevador (a) a nivel del troquel móvil (b) a nivel del troquel fijo. (fuente: elaboración propia).

- Una vez que el troquel está posicionado sobre las uñas, elevarlo hasta el nivel de la mesa representa una tarea demandante, ya que el peso del troquel dificulta el accionamiento mecánico (Figura 3.40).



(a) *(b)*

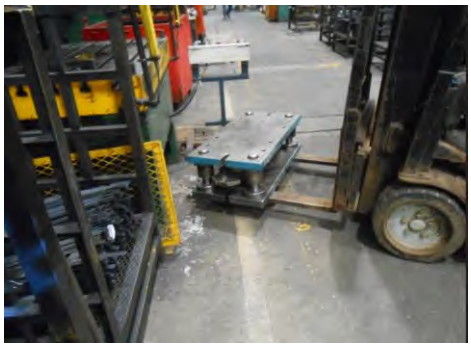
Figura 3.40. Altura de elevación de troquel (a) nivel de la mesa (b) nivel del suelo. (fuente: elaboración propia).

- ❖ Dado que el recorrido del sistema hidráulico es lento, el operador tiende a fatigarse por el esfuerzo continuo necesario para accionar manualmente el elevador.
- ❖ Para descender las uñas del elevador hasta el nivel del suelo, se utiliza una palanca ubicada al lado derecho del manubrio. Esta libera el flujo de aceite, lo que permite el descenso de las uñas con o sin él troquel.

- Propuestas de mejora:
  - ❖ Cada actividad puede optimizarse reemplazando el uso del elevador por un montacargas, lo cual representa una alternativa eficiente para el manejo de troqueles (Figura 3.41).
  - ❖ Con el uso del montacargas, la colocación del troquel se realiza de manera sencilla, ya que no es necesario aplicar esfuerzo físico para elevarlo hasta la altura de la mesa. La Figura 3.42 ilustra esta operación.
- Acción implementada:
  - ❖ Esta actividad fue sustituida por el uso de montacargas, eliminando la necesidad del elevador. Esto se tomó principalmente por razones de seguridad hacia el personal.

▪ Grupo 3: Traslado de troquel.

- Comentarios de las deficiencias encontradas:
  - ❖ Una vez retiradas, tanto la parte fija como la móvil del troquel se trasladan al centro de maquinados para su mantenimiento correspondiente. La Figura 3.43 muestra esta actividad.



(a) *(b)*

Figura 3.41. Uso de montacargas para subir o bajar el troquel (a) troquel a nivel del suelo (b) troquel a nivel de la mesa.
(fuente: elaboración propia).

Figura 3.42. Colocación de troquel con montacargas en mesa de prensas.
(fuente: elaboración propia).

(a) *(b)*

Figura 3.43. Traslado de troquel a centro de maquinados (a) troquel móvil (b) troquel fijo.
(fuente: elaboración propia).

- Al transportar el troquel utilizando el elevador, el esfuerzo requerido aumenta significativamente cuando se carga peso, en comparación con su uso en vacío.

- ❖ Cuando se lleva el troquel completo al área de prensas, es decir, con ambas partes, fija y móvil, el peso se duplica, lo que incrementa la dificultad del traslado.

- Propuestas de mejora:
  - ❖ El uso del montacargas facilita el traslado de cada parte del troquel hacia el área de maquinados, reduciendo el esfuerzo físico.
  - ❖ No es necesario aplicar fuerza manual para cargar el troquel desde su ubicación, ya sea desde un *rack* o una mesa de inspección como se muestra en la Figura 3.44.
  - ❖ El transporte del troquel completo se realiza de forma más fácil y segura mediante el uso del montacargas; la Figura 3.45 muestra su ejecución.
- Acción implementada:
  - ❖ Esta actividad fue sustituida por el uso de montacargas, eliminando la necesidad del elevador. Esto se tomó principalmente por razones de seguridad hacia el personal.

Figura 3.44. Carga de troquel mediante montacargas.
(fuente: elaboración propia).

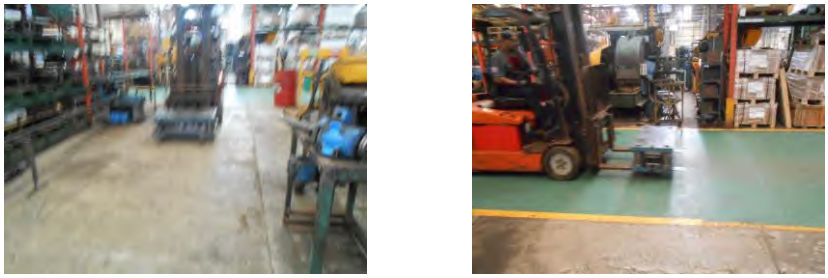


Figura 3.45. Traslado de troquel al área de prensas.
(fuente: elaboración propia).

3.13.4.2 Mejoramiento de actividades externas

Para identificar aquellas actividades externas, que pudieran optimizarse, se realizaron las siguientes acciones, en colaboración del personal operativo:

1. Análisis de actividades externas.

   Se analizaron detalladamente las actividades externas descritas en la **¡Error! No se e ncuentra el origen de la referencia.**, y se identificó que tres actividades externan presentaban oportunidades de mejora:

   1) Actividad 4: Tomar una hoja de papel para calibrar el corte del troquel.
   2) Actividad 5: Retirar el elevador.
   3) Actividad 6 Configurar la máquina en modo semiautomático.

2. Recopilación de propuestas del personal operativo.

   A partir del análisis realizado en el paso 1, en el que se identificó que las tres actividades externas eran susceptibles de optimización, se mantuvieron conversaciones con el personal operativo en turno. Durante estas sesiones, se recogieron sus propuestas y sugerencias sobre cómo mejorar la eficiencia de las actividades mencionadas. Esta información fue clave para el desarrollo de las propuestas de mejora que se detallan en el paso 3.

3. Desarrollo de propuestas y acciones para la optimización.

   Con base en análisis realizado en los pasos anteriores y a las sugerencias recabadas del personal operativo, se identificaron propuestas de mejora en las actividades externas. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta las p ropuestas de mejora, específicas para optimizar cada actividad, asimismo, destaca las deficiencias actuales.

3.13.5 Fase 4: Presentación de resultados al jefe de ingeniería

En la fase final de la implementación de SMED se llevó a cabo una presentación ante el jefe del área de ingeniería, donde se expusieron los resultados obtenidos del proceso de cambio de troquel en prensas. En la presentación se mencionaron los siguientes resultados:

- **Situación antes de SMED.** El tiempo inicial registrado para el cambio de troquel, fue de 64.71 minutos. Este valor sirvió como referencia para evaluar el impacto de las mejoras implementadas.

Tabla 3.71. Comentario y propuestas de mejora para actividades externas. (fuente: elaboración propia).

No.	Actividad	Deficiencia actual	Propuesta de Mejora
4	Tomar una hoja de papel para calibrar el corte del troquel.	Se toma una hoja de papel para verificar el ajuste del corte; se realiza un ciclo automático y, si la hoja es cortada, se considera que el ajuste es correcto.	Se recomienda eliminar este paso, ya que el ajuste se realiza al iniciar la producción.
5	Retirar el elevador.	Cuando el elevador deja de ser necesario en el proceso, se debe buscar un espacio para colocarlo. Esto genera pérdida de tiempo, ya que el operador tiene que buscar una ubicación improvisada.	Se solicita que el operador, antes de iniciar el cambio de troquel, retire el elevador y lo coloque en un lugar donde no interfiera con la actividad.
6	Configurar la máquina en modo semiautomático.	Esta acción consiste en cambiar el modo de operación de la prensa para realizar pruebas de corte o movimientos controlados para ajuste de troquel.	Se indica al operador que configure la máquina en modo semiautomático antes de que sea necesaria, aprovechando los tiempos disponibles previos al cambio de troquel.

- **Situación después de SMED.** Una vez implementadas las fases descritas en la Sección 3.13.1 a la Sección 3.13.3, y las mejoras descritas en la Sección 3.13.4, se obtuvieron los siguientes resultados:
    - Reducción del tiempo de cambio de 64.71 a 61.49 minutos mediante la planificación de tareas que podían ejecutarse con la prensa en operación. La reducción fue de 3.26 minutos.
    - Disminución adicional de 61.49 a 59.88 minutos mediante la conversión de actividades internas en externas, logrando un ahorro acumulado de 4.87 minutos con respecto al valor inicial: 64.71.
    - Validación del proceso optimizado mediante una nueva toma de tiempos para medir el impacto real de las acciones.
    - Reducción del tiempo de cambio de 64.71 a 29.26 minutos, equivalente a una reducción del 54.78 %.

Para ilustrar la evolución de la aplicación de SMED se realizó la **¡Error! No se encuentra e l origen de la referencia.**.

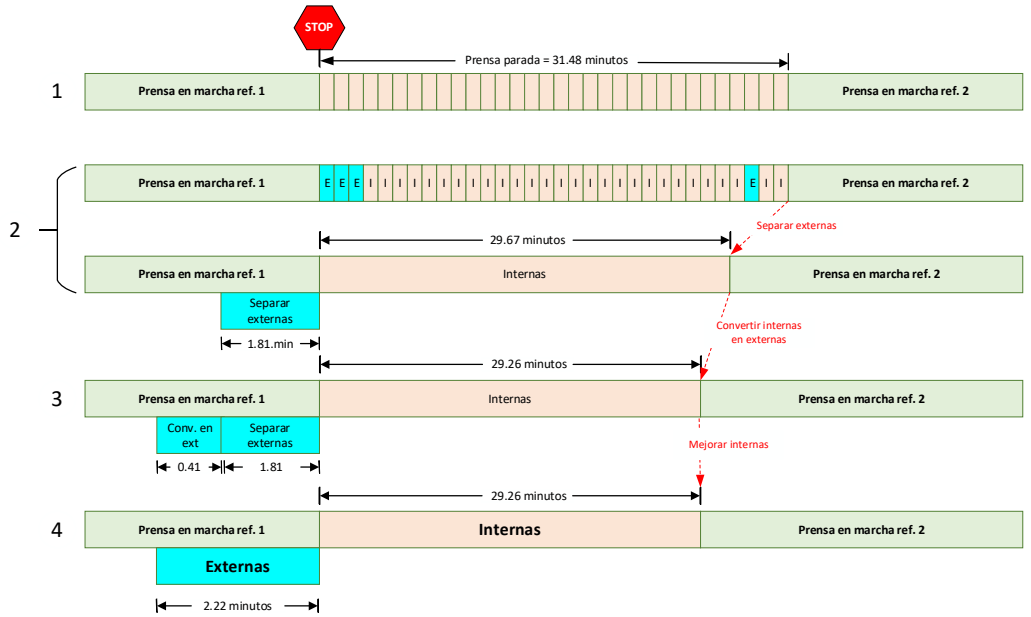


Figura 3.46. Aplicación de SMED en cambio de troquel en prensas. (fuente: elaboración propia).

3.14 Medir indicadores después de la mejora

Una vez aplicadas las herramientas de estandarización (Sección 2.7), las 5S (Sección 2.7.1) y SMED (Sección 2.7.2) para optimizar los indicadores que afectan la productividad (Sección 3.7), se llevó a cabo una nueva medición de éstos, con el propósito de evaluar el nivel de mejora alcanzado en cada uno, a través de las siguientes actividades:

- Medición del espacio ocupado por elementos innecesarios después de la mejora.
- Medición del tiempo de cambio de troquel de prensas, después de la mejora.

3.14.1 Medición del espacio ocupado por elementos innecesarios después de la mejora

Luego de implementar las 5S (Sección 3.11.5 a la Sección 3.11.9) con el objetivo de disminuir el espacio ocupado por elementos innecesarios, en la línea de machetes, se procedió a efectuar nuevamente la medición de este indicador con las siguientes actividades:

- Optimización del espacio tras la aplicación de las 5S.
- Interpretación de datos recopilados.

3.14.1.1 Optimización del espacio tras la aplicación de las 5S

Con el objetivo de presentar un comparativo detallado de los resultados, de la aplicación de las 5S mostrando los valores correspondientes al área total, útil, no útil, ocupada y disponible, conservando únicamente la maquinaria y los materiales esenciales para el proceso se realizó lo siguiente:

- Se desarrolló la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para mostrar u n resumen de los resultados en la subárea de la cortadora láser.
- Se completó el formato de registro para las tres áreas de la línea de producción de machetes, descritas en la Sección 3.4.1. Para facilitar la medición, dichas áreas fueron subdivididas en 12 subáreas, lo que dio como resultado la elaboración de 12 tablas, las cuales se presentan en el Anexo 4.

3.14.1.2 Interpretación de datos recopilados

En esta sección, con base en las mediciones recopiladas en las 12 tablas (Sección 3.14.1.1 y Anexo 4), se elaboró un resumen comparativo de las tres áreas descritas en la Sección 3.4.1.

Este resumen permite visualizar la optimización del espacio, antes y después de la aplicación de las 5S. A continuación, se describen los resultados obtenidos en cada una de las áreas evaluadas:

Tabla 3.72. Medición de espacio después de la mejora.
(fuente: elaboración propia).

HOJA DE MAQUINARIA, MATERIAL Y OBJETOS INNECESARIOS											Nombre de la subárea: Cortadora laser							Area total (m²): 136.63
Elaboró: Israel Paredes Lino			Aprobó: José Iván Vázquez Solano								Hoja: 1 de 12							
Reviso: José Iván Vázquez Solano			Empresa: TecnoMetal								Fecha: 07/07/2025							
Datos de identificación			Espacio								Características físicas requeridas							
Número de identificación	Nombre de maquinaria, material u objetos innecesarios.	Abreviatura	Izquierda - derecha (m)	Frente – Posterior (m)	Area para maquinaria o equipo (m²)	Area para material (m²)	Area para espacio del operador (m²)	Area total de cada maquina o equipo (m²)	No. de máquinas / equipos	Área total neta (m²)	110 - AC	440 - AC	Agua	Vapor	Desagüe	Aire comprimido	Gas	Otro
1	Cortadora laser	MAQ	5.52	16.64	91.85	---	8.11	99.96	1	99.96	---	X	---	---	---	---	---	---
4	Botes de grasa	MAT	0.35	0.35	0.12	---	0	0.12	1	0.12	---	---	---	---	---	---	---	---
5	Transformador	MAQ	1.34	1.75	2.35	---	0.87	3.22	1	3.22	---	---	---	---	---	---	---	---
6	Base para chatarra	MAT	0.9	2.2	1.98	---	2.2	4.18	1	4.18	---	---	---	---	---	---	---	---
7	Tambo para polvo	MAT	0.62	0.62	0.38	---	0	0.38	1	0.38	---	---	---	---	---	---	---	---
8	Mesas de control	MAT	0.8	1.5	1.20	---	0.75	1.95	1	1.95	---	---	---	---	---	---	---	---
9	Silla	MAT	0.5	0.55	0.28	---	0.25	0.53	1	0.53	---	---	---	---	---	---	---	---

Comentarios: El espacio de altura requerido no está incluido				
	Área utilizada (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT + \sum OI)$	110.34		Acciones de mejora
	Área total útil (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT)$	110.34	a)	Colocar delimitación de máquinas y equipos.
	Área total no útil (m²): $(\sum OI)$	0	b)	Retirar equipos no útiles dentro del área.
	Área disponible (m²): (Área total – área utilizada)	26.29	c)	

- En el **área 1: proceso inicial,** se logró una optimización del uso del espacio disponible, como se detalla a continuación:
  - La ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. presentó una c omparación entre el estado inicial y final del uso del espacio, mostrando los metros cuadrados útiles, no útiles, ocupados y disponibles por área y subáreas, antes y después de la aplicación.
  - La Figura 3.47 reflejó la eliminación total del área no útil de 42.4 m² a 0 m² y un aumento del área disponible de 183.41 m² a 227.35 m², lo cual representó una mejora del espacio.

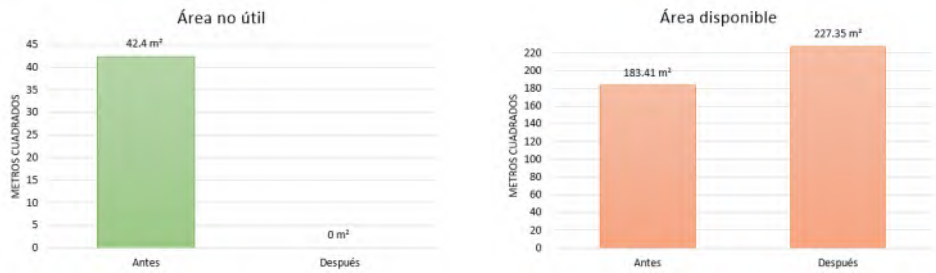
Tabla 3.73. Optimización del espacio en el área 1: proceso inicial, comparación antes y después de las 5S.
(fuente: elaboración propia).

OPTIMIZACIÓN DE ESPACIO ANTES Y DESPUÉS		Nombre del área: Proceso inicial	Área total (m²): 530.91
Elaboró: Israel Paredes Lino	Aprobó: José Iván Vázquez Solano	Hoja: 1 de 3	
Revisó: José Iván Vázquez Solano	Empresa: TecnoMetal	Fecha: 15/07/2025	

Datos de identificación			Antes				Después			
No.	Nombre de la subárea	Área total 1	Área útil 2	Área no útil 3	Área ocupada 4=2+3	Área disponible 1-4	Área útil 2	Área no útil 3	Área ocupada 4=2+3	Área disponible 1-4
1	Cortadora laser	136.63 m²	110.22 m²	2.93 m²	113.14 m²	23.49 m²	110.34 m²	0 m²	110.34 m²	26.29 m²
2	Laminado	82.73 m²	52.03 m²	7.3 m²	59.33 m²	23.4 m²	51.56 m²	0 m²	51.56 m²	31.17 m²
3	Prensas	60.85 m²	19.37 m²	5.4 m²	24.78 m²	36.07 m²	12.27 m²	0 m²	12.27 m²	48.58 m²
4	Horno de temple	75.57 m²	46.14 m²	2.78 m²	48.92 m²	26.65 m²	46.86 m²	0 m²	46.86 m²	28.71 m²
5	Horno revenido	89.36 m²	31.25 m²	19.02 m²	50.26 m²	39.10 m²	41.47 m²	0 m²	41.47 m²	47.89 m²
6	Lijado	45.15 m²	35.42 m²	0.97 m²	31.39 m²	8.72 m²	30.42 m²	0 m²	30.42 m²	14.73 m²
7	Biselado	40.62 m²	10.64 m²	4.00 m²	14.64 m²	25.98 m²	10.64 m²	0 m²	10.64 m²	29.98 m²
	Total	**530.91 m²**	**305.07**	**42.4 m²**	**342.46 m²**	**183.41 m²**	**303.56 m²**	**0 m²**	**303.56 m²**	**227.35 m²**

Antes	m²
Área total útil (m²):	305.07
Área total no útil (m²):	42.4
Área disponible (m²):	183.41
Área total (m²):	530.88

Después	m²
Área total útil (m²):	303.56
Área total no útil (m²):	0
Área disponible (m²):	227.35
Área total (m²):	530.91



(a) *(b)*

Figura 3.47. Reducción del área no útil (a) y aumento del área disponible (b) en el área 1: proceso inicial. (fuente: elaboración propia).

- En el **área 2: proceso de acabado**, se logró una optimización del uso del espacio disponible, como se detalla a continuación:
  - La Tabla 3.74 presentó una comparación entre el estado inicial y final del uso del espacio, mostrando los metros cuadrados útiles, no útiles, ocupados y disponibles por área y subáreas, antes y después de la aplicación.
  - La Figura 3.48 reflejó la eliminación total del área no útil de 18.04 m² a 0 m² y un aumento del área disponible de 57.6 m² a 73.55 m², lo cual representó una mejora del espacio.

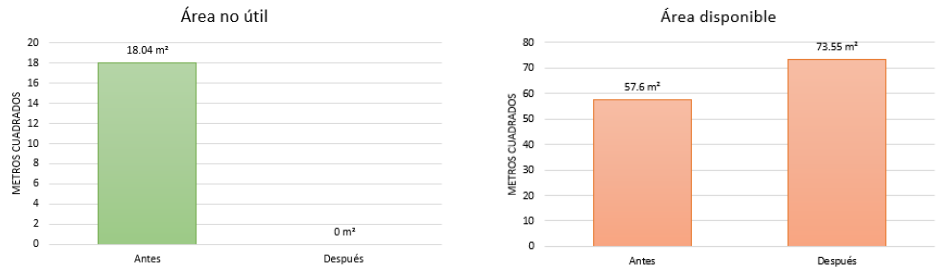
Tabla 3.74. Optimización del espacio en el área 2: proceso de acabado, comparación antes y después de las 5S. (fuente: elaboración propia).

OPTIMIZACIÓN DE ESPACIO ANTES Y DESPUÉS		Nombre del área: Proceso de acabado	Área total (m²): 205.9
Elaboró: Israel Paredes Lino	Aprobó: José Iván Vázquez Solano	Hoja: 2 de 3	
Reviso: José Iván Vázquez Solano	Empresa: TecnoMetal	Fecha: 15/07/2025	

Datos de identificación			Antes				Después			
No.	Nombre de la subárea	Área total 1	Área útil 2	Área no útil 3	Área ocupada 4=2+3	Área disponible 1-4	Área útil 2	Área no útil 3	Área ocupada 4=2+3	Área disponible 1-4
1	Bancos de madera	26.61 m²	4.88 m²	5.74 m²	10.62 m²	15.99 m²	5.13 m²	0 m²	5.13 m²	21.48 m²
2	Lacado	88.55 m²	77.19 m²	3.36 m²	80.55 m²	8 m²	78.12 m²	0 m²	78.12 m²	10.43 m²
3	Remachado	42.86 m²	33.65 m²	3.13 m²	36.78 m²	6.08 m²	33.64 m²	0 m²	33.64 m²	9.22 m²
4	Empaquetado	47.88 m²	14.54 m²	5.81 m²	20.35 m²	27.53 m²	15.46 m²	0 m²	15.46 m²	32.42 m²
	Total	**205.9 m²**	**130.26 m²**	**18.04 m²**	**148.3 m²**	**57.6 m²**	**132.35 m²**	**0 m²**	**132.35 m²**	**73.55 m²**

Antes	m²
Área total útil (m²):	130.26
Área total no útil (m²):	18.04
Área disponible (m²):	57.6
Área total (m²):	205.9

Después	m²
Área total útil (m²):	132.35
Área total no útil (m²):	0
Área disponible (m²):	73.55
Área total (m²):	205.9



(a) *(b)*

Figura 3.48. Reducción del área no útil (a) y aumento del área disponible (b) en el área 2: proceso de acabado. (fuente: elaboración propia).

- En el **área 3: proceso de inyección de plásticos**, se logró una optimización del uso del espacio disponible, como se detalla a continuación:
    - La ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. presentó una c omparación entre el estado inicial y final del uso del espacio, mostrando los metros cuadrados útiles, no útiles, ocupados y disponibles por área y subáreas, antes y después de la aplicación.
    - La Figura 3.49 reflejó la eliminación total del área no útiles de 10.43 m² a 0 m² y un aumento del área disponible de 45.1 m² a 55.57 m², lo cual representó una mejora del espacio.

Tabla 3.75. Optimización del espacio en el área 3: proceso de inyección de plástico, comparación antes y después de las 5S (fuente: elaboración propia).

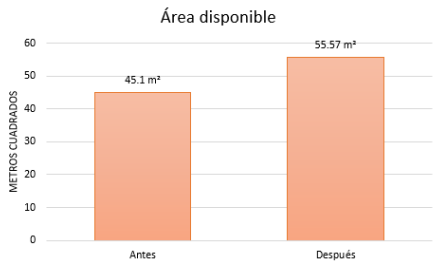
OPTIMIZACIÓN DE ESPACIO ANTES Y DESPUÉS		Nombre del área: Proceso de inyección de plástico	Área total (m²): 98.9
Elaboró: Israel Paredes Lino	Aprobó: José Iván Vázquez Solano	Hoja: 3 de 3	
Reviso: José Iván Vázquez Solano	Empresa: TecnoMetal	Fecha: 15/07/2025	

Datos de identificación			Antes				Después			
No.	Nombre de la subárea	Área total 1	Área útil 2	Área no útil 3	Área ocupada 4=2+3	Área disponible 1-4	Área útil 2	Área no útil 3	Área ocupada 4=2+3	Área disponible 1-4
1	Inyección de plástico	98.9 m²	43.33 m²	10.43 m²	53.8 m²	45.1 m²	43.33 m²	0 m²	43.33m²	55.57 m²
	Total	98.90 m²	43.33 m²	10.43 m²	53.8 m²	45.1 m²	43.33 m²	0 m²	43.33m²	55.57 m²

Antes	m²
Área total útil (m²):	43.33
Área total no útil (m²):	10.43
Área disponible (m²):	45.1
Área total (m²):	98.86

Después	m²
Área total útil (m²):	43.333
Área total no útil (m²):	0
Área disponible (m²):	55.57
Área total (m²):	98.90

(a)



(b)

Figura 3.49. Reducción del área no útil (a) y aumento del área disponible (b) en el área 3: proceso inyección de plástico. (fuente: elaboración propia).

3.14.2 Medición del tiempo de cambio de troquel de prensas, después de implementar SMED

Luego de implementar SMED (Sección 3.13) con el objetivo de reducir el tiempo de cambio de troquel en prensas, en la línea de machetes, se procedió a efectuar nuevamente la medición de este indicador con las siguientes actividades:

- Medición del tiempo de cambio de troquel de prensas, después de implementar SMED.
- Interpretación de datos recopilados.

3.14.2.1 Medición del tiempo de cambio de troquel de prensas, después de implementar SMED

Una vez realizada la aplicación de SMED, en el área de prensas de la línea de machetes (Sección 3.13), se procedió a realizar una nueva medición del tiempo de cambio de troquel con el propósito de comparar los resultados obtenidos antes y después de la aplicación. Para realizar la nueva medición de tiempos se utilizó el procedimiento descrito previamente en la Sección 3.8.3.2. Con base en las nuevas mediciones se realizó lo siguiente:

- Se elaboró la Tabla 3.76, la cual presenta un resumen de los tiempos registrados para las actividades externas en el cambio de troquel.
- Se elaboró la Tabla 3.77, la cual presenta un resumen de los tiempos registrados para las actividades internas del cambio de troquel.

Tabla 3.76. Tiempo de actividades externas en el cambio de troquel, después de implementar SMED.
(fuente: elaboración propia).

Orden	Actividades Externas	Ciclos (Tiempo en minutos)						Promedio min.
		1	2	3	4	5	6	
1	Recibir orden para cambio de troquel.	0.20	0.22	0.18	0.21	0.19	0.20	0.20
2	Buscar la herramienta necesaria para el cambio de troquel.	0.30	0.29	0.32	0.27	0.31	0.28	0.30
3	Llevar el elevador y la herramienta a la prensa para retirar el troquel.	1.30	1.37	1.26	1.28	1.34	1.31	1.31
4	Tomar una hoja de papel para calibrar el corte del troquel.	-	-	-	-	-	-	-
5	Retirar el elevador.	0.30	0.27	0.33	0.29	0.32	0.30	0.30
6	Configurar la máquina en modo semiautomático.	0.11	0.10	0.12	0.11	0.10	0.12	0.11
	Total	2.21	2.25	2.21	2.16	2.26	2.21	2.22

Tabla 3.77. Tiempo de actividades internas en el cambio de troquel, después de implementar SMED.
(fuente: elaboración propia).

Orden	Actividades Internas	Ciclos (Tiempo en min)						Promedio min.
		1	2	3	4	5	6	
1	Desatornillar los dos tornillos frontales del troquel móvil.	0.47	0.52	0.44	0.40	0.51	0.46	0.47
2	Subir el elevador al nivel del troquel móvil para su desmontaje.	0.45	0.40	0.53	0.42	0.49	0.41	0.45
3	Ajustar el elevador al troquel móvil.	0.25	0.34	0.41	0.39	0.32	0.43	0.36
4	Recorrer a la parte posterior de la prensa para desatornillar la tornillería.	0.18	0.20	0.17	0.12	0.22	0.20	0.18
5	Desatornillar los dos tornillos posteriores del troquel móvil.	0.53	0.34	0.40	0.39	0.32	0.37	0.39
6	Bajar el elevador con el troquel móvil hasta retirarlo de la mesa.	0.30	0.33	0.25	0.26	0.28	0.22	0.27
7	Descender el elevador hasta el nivel del suelo con el troquel móvil.	0.19	0.17	0.24	0.10	0.27	0.13	0.18
8	Llevar el troquel móvil al área de maquinados para mantenimiento y colocarlo en el lugar asignado.	2:10	2.01	2.18	2.20	1.98	2.13	1.77
9	Ir por el troquel fijo.	1.45	1.53	1.39	1.44	1.42	1.55	1.46
10	Colocar el elevador al nivel de la mesa de la prensa.	0.40	0.44	0.36	0.47	0.38	0.41	0.41
11	Desatornillar y retirar los dos tornillos que sujetan el troquel fijo.	0.57	0.58	0.66	0.61	0.55	0.69	0.61
12	Empujar el troquel fijo hasta colocarlo en el elevador.	2.41	2.38	2.46	2.30	2.50	2.32	2.40
13	Bajar el elevador con el troquel fijo hasta el nivel del suelo.	0.27	0.33	0.21	0.29	0.23	0.34	0.28
14	Llevar troquel fijo usado al área de maquinados para su mantenimiento.	2.16	2.09	2.12	2.21	2.18	2.25	2.17
15	Colocar el elevador a la altura del rack donde se encuentra el troquel a instalar.	0.15	0.30	0.43	0.34	0.44	0.41	0.35
16	Llevar el troquel a la prensa.	1.40	1.48	1.33	1.35	1.31	1.42	1.38
17	Elevar el troquel hasta la base de la prensa.	2.00	2.03	1.94	1.92	2.09	2.10	2.01
18	Empujar hasta colocarlo en la mesa.	2.40	2.36	2.26	2.22	2.15	2.19	2.26
19	Calibrar la altura de la máquina.	1.00	0.51	0.44	0.46	0.45	0.49	0.56
20	Alinear la base de la biela al ras del troquel móvil para su fijación.	1.30	1.23	1.40	1.33	1.38	1.36	1.33
21	Colocar los cuatro tornillos sin apretarlos completamente.	3.30	0.23	0.15	0.18	0.13	0.24	0.71
22	Fijar el troquel fijo a la mesa de la prensa.	1.15	1.05	1.10	1.18	1.22	1.13	1.14
23	Realizar un ciclo automático.	0.15	2.03	1.91	1.92	2.07	2.06	1.69
24	Ajustar la máquina y apretar los seis tornillos con ayuda de una palanca.	1.28	1.19	1.22	1.37	1.18	1.34	1.26
25	Aflojar un tornillo para realizar el ajuste necesario.	0.15	0.14	0.17	0.20	0.15	0.17	0.16
26	Realizar pruebas de corte con la lámina.	5	4.93	5.10	5.06	5.00	4.98	5.01
	Total:	29.00	29.14	29.27	29.13	29.22	29.80	29.26

3.14.2.2 Interpretación de datos recopilados

Con el objetivo de interpretar y evidenciar la reducción en el tiempo de cambio de troquel en prensas, se realizó una comparación de los tiempos registrados del proceso. Éstos se clasificaron de la siguiente manera:

- **Tiempo antes de SMED.** Corresponde al tiempo medido antes de aplicar SMED en el cambio de troquel, el cual se documentó en la Sección 3.8.3.2. Este valor representó el desempeño original del proceso al efectuar un cambio de troquel.
- **Tiempo después de SMED** Se refiere al tiempo medido una vez implementadas las mejoras y recomendaciones identificadas mediante SMED. Estos valores se documentaron en la Sección 3.14.2.1, y representan el desempeño real alcanzado tras la aplicación de SMED.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta una comparación de estos d os tiempos, con el fin de mostrar el impacto generado por la implementación de SMED:

Tabla 3.78. Comparativo de tiempos en el cambio de troquel. (fuente: elaboración propia).

COMPARACIÓN DE TIEMPOS		**Nombre del área:** Prensas	**Área total (m²):** 60.85
Elaboró: Israel Paredes Lino	**Aprobó:** José Iván Vázquez Solano	**Hoja:** 1	**de** 1
Reviso: José Iván Vázquez Solano	**Empresa:** TecnoMetal	**Fecha:** 22/07/2025	

Tiempo antes de SMED (TAS)		
Actividades	**Cantidad**	**Tiempo (min)**
Internas:	32	64.71
Externas:	0	0

Tiempo de paro:	64.71 min.

Tiempo disponible:	0	min
TSM:	20	Pzas/min
Piezas obtenidas:	0	0

Tiempo después de SMED (TDS)		
Actividades	**Cantidad**	**Tiempo (min)**
Internas:	26	29.26
Externas:	5	2.22

Tiempo de paro:	29.26 min.

Tiempo ahorrado:	35.45	min
TSM:	20	Pzas/min
Piezas a obtener:	709	Pzas/min

TSM: Tasa de salida en piezas por minuto.
Tiempo ahorrado: (TAS-TDS).

Con base en los resultados, presentados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la r eferencia.**, se llevó a cabo una comparación visual que permitió evidenciar con claridad la

evolución del proceso tras la implementación de la metodología SMED. A partir de esta información, se realizaron las siguientes acciones:

- Se registró una reducción progresiva en el tiempo de cambio de troquel, pasando de 64.71 minutos hasta alcanzar un tiempo de 29.26 minutos tras la implementación de SMED, como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.
- Se demostró una mejora significativa en la eficiencia del cambio de troquel, pasando de una tasa de salida inicial de 0 piezas a una proyección de 709 piezas tras la aplicación de SMED, como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de l a referencia.**.

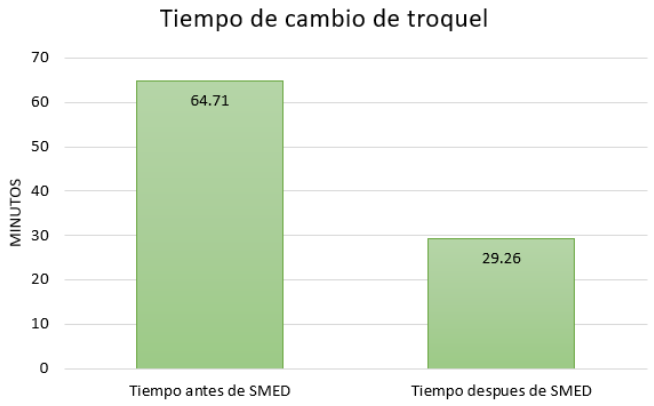


Figura 3.50. Evolución del tiempo de cambio tras la aplicación de SMED. (fuente: elaboración propia).

Figura 3.51. Evolución de la tasa de salida tras la aplicación de SMED. (fuente: elaboración propia).

3.15 Validar estadísticamente las mejoras

Una vez obtenidos los resultados de la implementación de las mejoras (Sección 3.11 y Sección 3.13) correspondientes a los indicadores evaluados Sección 3.8) se procedió a validar su efectividad mediante la comparación de los valores registrados, antes y después de la aplicación, empleando dos pruebas estadísticas. Para el caso del tiempo de cambio de troquel en el área de prensas, se utilizó una prueba t para dos muestras independientes, mientras que, para el caso de la mejora en el área disponible en la línea de machetes, mediante la aplicación de las 5S, se utilizó una prueba t para muestras dependientes, como se detalla a continuación:

- Validación del área disponible en la línea de machetes tras la aplicación de las 5S, utilizando una prueba t para muestras dependientes.
- Validación del área disponible de la mejora en el área 3: proceso de inyección de plástico.
- Verificación de la mejora en el tiempo de cambio de troquel en el área de prensas tras la aplicación de SMED, mediante una prueba t para dos muestras independientes.

3.15.1 Validación del área disponible en línea de machetes tras la aplicación de las 5S, utilizando una prueba t para muestras dependientes

Con el objetivo de validar si la aplicación de las 5S generó una mejora en la disponibilidad de espacio dentro de la línea de producción de machetes, se llevó a cabo una prueba de hipótesis utilizando una prueba de t para muestras dependientes (Sección 2.6.2). Esta evaluación se centró en validar el área disponible, mediante la revisión de las distintas áreas que conforman dicha línea, tal como se describió en la Sección 3.4.1, para ello, se realizaron las siguientes actividades:

- Validación del área disponible de la mejora en el área 1: proceso inicial.
- Validación del área disponible de la mejora en el área 2: proceso de acabado.

3.15.1.1 Validación del área disponible de la mejora en el área 1: proceso inicial

Con el fin de validar si la aplicación de las 5S generó una mejora significativa en la disponibilidad de espacio en la primera área de la línea de producción de machetes, se realizó

una prueba de hipótesis t para muestras dependientes ajustando los pasos descritos en la Sección 2.6.2:

1. Se recopilaron los valores correspondientes del área disponible del antes y después de aplicar 5S, según lo registrado en la Sección 3.14.1.2. En la **¡Error! No se e ncuentra el origen de la referencia.** se muestran los valores obtenidos por subárea y su diferencia correspondiente.
2. Se calculó la media de las diferencias entre el área disponible antes y después de aplicar las 5S, con base en los datos de la **¡Error! No se encuentra el origen de la r eferencia.**, utilizando la Ecuación 3.13. El resultado se muestra en la Ecuación 3.14.

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{n} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.13)$$

Donde:

$\bar{x}$ = $Media\ de\ las\ subáreas.$

xi = $Diferencia\ de\ cada\ subárea.$

n = $Número\ total\ de\ subáreas.$

$$\bar{x} = \frac{(2.80+7.77+\cdots+6.01+4)}{7} = 6.28\ m^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.14)$$

3. Se determinó la desviación estándar de las diferencias entre el área disponible del antes y después de la aplicación de las 5S, utilizando la Ecuación 3.15. El resultado se muestra en la Ecuación 3.16.

Tabla 3.79. Área disponible de subáreas antes y después de las 5S. (fuente: elaboración propia).

Subárea	Área disponible antes (m²)	Área disponible después (m²)	Diferencia (m²)
Cortadora laser	23.49	26.29	2.80
Laminado	23.4	31.17	7.77
Prensas	36.07	48.58	12.51
Horno de temple	26.65	28.71	2.06
Horno revenido	39.10	47.89	8.79
Lijado	8.72	14.73	6.01
Biselado	25.98	29.98	4

Donde:

S = $Desviación\ estándar.$

xi = $Diferencias\ de\ cada\ subárea.$

$\bar{x}$ = $Media\ de\ las\ subáreas.$

n = $Número\ total\ de\ subáreas.$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n}(xi-\bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(2.80-6.28)^2+\cdots+(4-6.28)^2}{6}} = 3.71\ m^2 \ldots\ldots\ldots\ldots (3.16)$$

4. Se calculó el error estándar de la media utilizando la Ecuación 3.17. El resultado del error estándar de la media se muestra en la Ecuación 3.18.

$$SE = \frac{S_d}{\sqrt{n}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.17)$$

Donde:

SE = $Error\ estándar.$

S_d = $Desviación\ estandar\ de\ las\ diferencias.$

n = $Número\ total\ de\ subáreas.$

$$SE = \frac{3.71}{\sqrt{7}} = 1.40\ m^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.18)$$

5. Se formularon la hipótesis nula H_o y alternativa H_1 con el objetivo de determinar si el área disponible aumentó significativamente tras aplicar las 5S. Las hipótesis se expresaron de la siguiente manera:

$$H_o: \mu_d = 0 \rightarrow Hipótesis\ nula.$$
$$H_1: \mu_d > 0 \rightarrow Hipótesis\ alternativa.$$

6. Se estableció un nivel de significancia del 5%, correspondiente a un nivel de confianza del 95% $(1 - \alpha = 0.95)$.

7. Se calculó el valor crítico considerando un nivel de confianza del 95 % -lo cual implica un nivel de significancia del 5 % ($\alpha = 0.05$)- y 6 grados de libertad -resultantes de la resta del tamaño del número de subáreas menos uno ($n_1 - 1$)-. Con base en estos datos y mediante la consulta de la tabla t-*Student* (**¡Error! No se e ncuentra el origen de la referencia.**) se obtuvo el valor crítico que se muestra en la Ecuación 3.19:

$$t_{0.05,(7-1)} = t_{0.05,(6)} = 1.943 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.19)$$

8. Se realizó el calculó valor estadístico de prueba (t_0) empleando la Ecuación 3.20. El valor obtenido de dicho cálculo se presenta en la Ecuación 3.21.

$$t_0 = \frac{\bar{x}}{SE} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.20)$$

Donde:

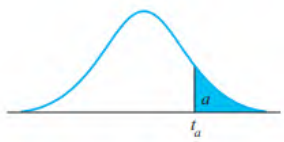
t_0 = $Valor\ estadístico\ de\ prueba.$

$\bar{x}$ = $Media\ de\ las\ subáreas.$

SE = $Error\ estándar.$

$$t_0 = \frac{6.28}{1.40} = 4.48 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.21)$$

Tabla 3.80. Tabla de t-Student para 6 grados de libertad. (Mendenhall et al., 2006).



df	$t_{.100}$	$t_{.050}$	$t_{.025}$	$t_{.010}$	$t_{.005}$	df
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	1
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	2
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	3
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	4
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	6
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	7
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	8
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	9
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	10

9. Se verificó la aceptación o rechazo de la hipótesis nula mediante la comparación entre el valor del estadístico de prueba (t_0) (Ecuación 3.21) y el valor crítico ($t_{0.05,(6)}$) (Ecuación 3.19), tal como se indica en la Ecuación 3.22, el resultado de dicha comparación se presenta en la Ecuación 3.23.

$$t_0 > t_{0.05,(6)} \quad (3.22)$$

$$4.48 > 1.943 \quad (3.23)$$

Con base en la Ecuación 3.23, se observó que el valor de t_0 se encuentra dentro de la región de rechazo (Figura 3.52). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alternativa H_1, lo cual valida que hay una diferencia significativa en el área disponible con la aplicación de las 5S en el área 1: proceso inicial. Con base en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa que la d iferencia significativa es "más espacio disponible con la aplicación de las 5S"**.**

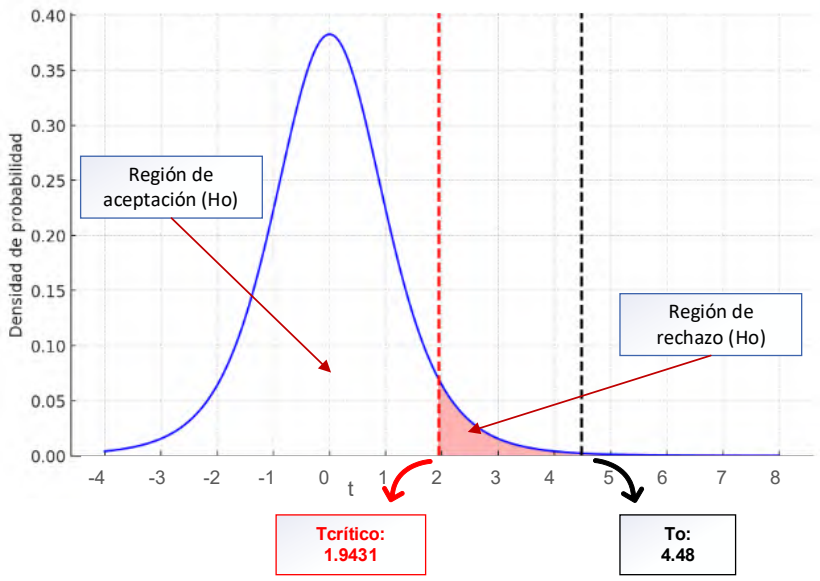


Figura 3.52. Región de rechazo en la prueba de hipótesis en el área 1: proceso inicial.
(fuente: elaboración propia).

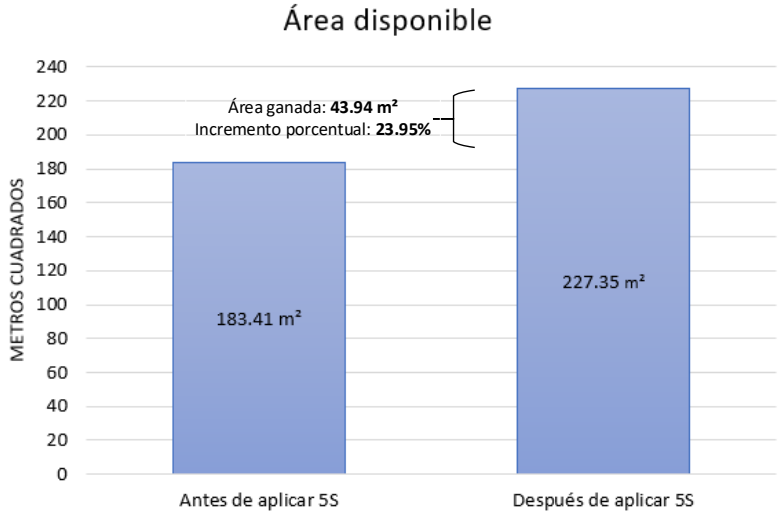


Figura 3.53. Diferencia en el área disponible en área 1: proceso de inicio.
(fuente: elaboración propia).

3.15.1.2 Validación del área disponible de la mejora en el área 2: proceso de acabado

Con el fin de validar si la aplicación de las 5S generó una mejora significativa en la disponibilidad de espacio en la segunda área de la línea de producción de machetes, se realizó una prueba de hipótesis t para muestras dependientes ajustando los pasos descritos en la Sección 2.6.2:

1. Se recopilaron los valores correspondientes del área disponible del antes y después de aplicar 5S, según lo registrado en la Sección 3.14.1.2. En la **¡Error! No se e ncuentra el origen de la referencia.** se muestran los valores obtenidos por subárea y su diferencia correspondiente.
2. Se calculó la media de las diferencias entre el área disponible antes y después de aplicar las 5S, con base en los datos de la **¡Error! No se encuentra el origen de la r eferencia.**, utilizando la Ecuación 3.24. El resultado se muestra en la Ecuación 3.25.

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{n} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.24)$$

Donde:

$\bar{x}$ = $Media\ de\ las\ subáreas.$

xi = $Diferencia\ de\ cada\ subárea.$

n = $Número\ total\ de\ subáreas.$

Tabla 3.81. Área disponible de la Área 2: proceso de acabado, antes y después de las 5S. (fuente: elaboración propia).

Subárea	Área disponible antes (m²) (1)	Área disponible después (m²) (2)	Diferencia (m²) (2-1)
Bancos de madera	15.99	21.48	5.49
Lacado	8	10.43	2.43
Remachado	6.08	9.22	3.14
Empaquetado	27.53	32.42	4.89

$$\bar{x} = \frac{(5.49+\cdots+4.89)}{4} = 3.99\ m^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.25)$$

3. Se determinó la desviación estándar de las diferencias entre el área disponible del antes y después de la aplicación de las 5S utilizando la Ecuación 3.26. El resultado se muestra en la Ecuación 3.27.

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n}(xi-\bar{x})^2}{n-1}} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.26)$$

Donde:

S = $Desviación\ estándar.$

xi = $Diferencias\ de\ cada\ subárea.$

$\bar{x}$ = $Media\ de\ las\ subáreas.$

n = $Número\ total\ de\ subáreas.$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n}(xi-\bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(5.49-3.99)^2+\cdots+(4.89-3.99)^2}{3}} = 1.44\ m^2 \ldots\ldots\ldots\ldots (3.27)$$

4. Se calculó el error estándar de la media utilizando la Ecuación 3.28. El resultado del error estándar de la media se muestra en la Ecuación 3.29.

$$SE = \frac{S_d}{\sqrt{n}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.28)$$

Donde:

SE = $Error\ estándar.$

S_d = $Desviación\ estandar\ de\ las\ diferencias.$

n = $Número\ total\ de\ subáreas.$

$$SE = \frac{1.44}{\sqrt{4}} = 1.02\ m^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.29)$$

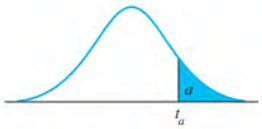
5. Se formularon la hipótesis nula H_o y alternativa H_1 con el objetivo de determinar si el área disponible aumentó significativamente tras aplicar las 5S. Las hipótesis se expresaron de la siguiente manera:

$$H_o: \mu_d = 0 \rightarrow Hipótesis\ nula.$$
$$H_1: \mu_d > 0 \rightarrow Hipótesis\ alternativa.$$

6. Se estableció un nivel de significancia del 5%, correspondiente a un nivel de confianza del 95% $(1 - \alpha = 0.95)$.
7. Se calculó el valor crítico considerando un nivel de confianza del 95 % -lo cual implica un nivel de significancia del 5 % ($\alpha = 0.05$)- y 3 grados de libertad -

resultantes de la resta del tamaño del número de subáreas menos uno ($n_1 - 1$)-. Con base en estos datos y mediante la consulta de la tabla t-*Student* (**¡Error! No se e ncuentra el origen de la referencia.**) se obtuvo el valor crítico que se muestra en la Ecuación 3.30:

Tabla 3.82. Tabla de t-Student para 3 grados de libertad. (Mendenhall et al., 2006).



df	$t_{.100}$	$t_{.050}$	$t_{.025}$	$t_{.010}$	$t_{.005}$	df
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	1
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	2
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	3
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	4
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	6
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	7
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	8
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	9
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	10

$$t_{0.05,(4-1)} = t_{0.05,(3)} = 2.353 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.30)$$

8. Se realizó el calculó valor estadístico de prueba (t_0) empleando la Ecuación 3.31. El valor obtenido de dicho cálculo se presenta en la Ecuación 3.32.

$$t_0 = \frac{\bar{x}}{SE} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.31)$$

Donde:

t_0 = *Valor estadístico de prueba.*

$\bar{x}$ = *Media de las subárea.*

SE = *Error estándar.*

$$t_0 = \frac{3.99}{1.02} = 3.91 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.32)$$

9. Se verificó la aceptación o rechazo de la hipótesis nula mediante la comparación entre el valor del estadístico de prueba (t_0) (Ecuación 3.32) y el valor crítico ($t_{0.05,(3)}$)

(Ecuación 3.30), tal como se indica en la Ecuación 3.33, el resultado de dicha comparación se presenta en la Ecuación 3.34.

$$t_0 > t_{0.05,(3)} \quad (3.33)$$

$$3.91 > 2.353 \quad (3.34)$$

Con base en la Ecuación 3.34, se observa que el valor de t_0 se encuentra dentro de la región de rechazo (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Por lo t anto, se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alternativa H_1, lo cual valida que hay una diferencia significativa en el área disponible con la aplicación de las 5S en el área 2: proceso de acabado. Con base en la Figura 3.55 se observa que diferencia significativa es "más espacio disponible con la aplicación de las 5S"**.**

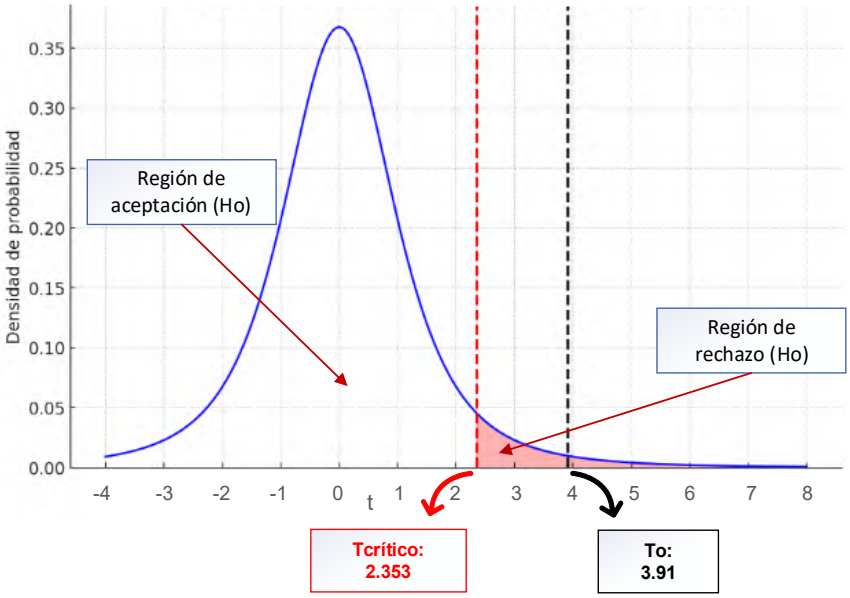


Figura 3.54. Región de rechazo en la prueba de hipótesis en el área 2: proceso de acabado.
(fuente: elaboración propia).

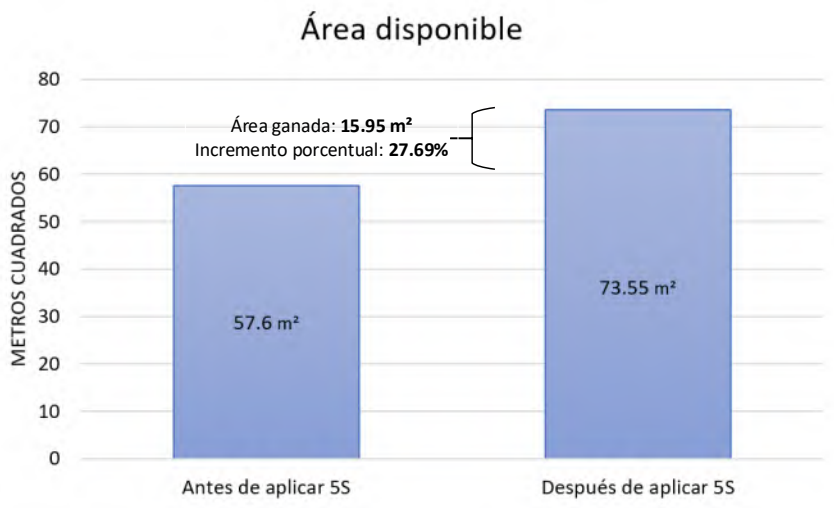


Figura 3.55. Diferencia en el área disponible en área 2: proceso de proceso. (fuente: elaboración propia).

3.15.2 Validación del área disponible de la mejora en el área 3: proceso de inyección de plástico

Con el objetivo de validar si la aplicación de las 5S produjo una mejora significativa en la disponibilidad de espacio en la tercera área de la línea de producción de machetes, se realizó una comparación gráfica entre el área disponible antes y después de su aplicación, como se detalla a continuación:

1. Se recopilaron los valores correspondientes del área disponible del antes y después de aplicar las 5S, según lo registrado en la Sección 3.14.1.2. En la **¡Error! No se e ncuentra el origen de la referencia.** se muestran los valores obtenidos por subárea y su diferencia correspondiente.
2. Con base a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se calculó la d iferencia porcentual que permite cuantificar el incremento relativo en el área disponible tras la aplicación de las 5S, utilizando la Ecuación 3.35. El resultado obtenido se presenta en la Ecuación 3.36.

$$I_p = \frac{Á_p - Á_a}{Á_a} * 100 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.35)$$

Donde:

I_p = $Incremento\ porcentual.$

$Á_a$ = $Área\ anterior.$

$Á_p$ = $Área\ posterior.$

$$I_p = \frac{55.57-45.1}{10.47} * 100 = 23.22\% \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.36)$$

3. Con base al resultado de la Ecuación 3.36, se concluyó que en el área 3: proceso inyección de plásticos; se generó un incremento del **23.22% en la disponibilidad de espacio.**
4. Se elaboró la Figura 3.56 en la que se visualiza la variación del área disponible antes y después de la aplicación de las 5S, permitiendo identificar visualmente las mejoras alcanzadas.

Tabla 3.83. Área disponible de subárea antes y después de las 5S. (fuente: elaboración propia).

Subárea	Área disponible antes (m²) (1)	Área disponible después (m²) (2)	Diferencia (m²) (2-1)
Inyección de plásticos	45.1	55.57	10.47

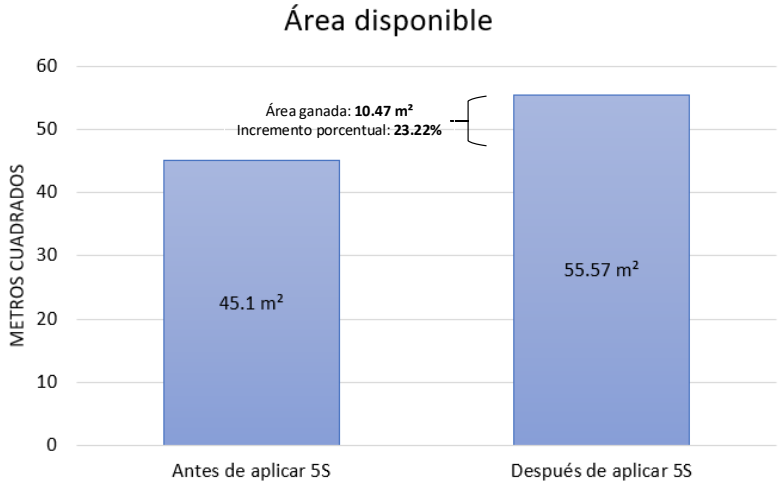


Figura 3.56. Diferencia en el área disponible en área 3: proceso inyección de plástico. (fuente: elaboración propia).

3.15.3 Verificación de la mejora en el tiempo de cambio de troquel en el área de prensas, tras la aplicación de SMED, mediante una prueba t para dos muestras independientes

Para la validación de la mejora del tiempo de cambio de troquel, en el área de prensas, tras la aplicación de SMED (Sección 3.13), se realizó una prueba de hipótesis mediante una prueba t para dos muestras independiente ajustando los pasos descritos en la Sección 2.6.1:

1. Se recopilaron los tiempos correspondientes al cambio de troquel antes de aplicar SMED, según lo registrado en la Sección 3.8.3.2, así como los tiempos posteriores a su aplicación, documentados en la Sección 3.14.2.1. Para ambos casos se tomaron en cuenta los seis ciclos óptimos; la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** m uestra esta recopilación.
2. Se calculó el tiempo promedio del cambio, antes de la aplicación de SMED, con base en los datos de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, utilizando la E cuación 3.37. El resultado se muestra en la Ecuación 3.38.
3. Se calculó el tiempo promedio del cambio, después de la aplicación de SMED, con base en los datos de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, u tilizando la Ecuación 3.37. El resultado se muestra en la Ecuación 3.39.

Tabla 3.84. Tiempos de cambio de troquel en prensas antes y después de SMED. (fuente: elaboración propia).

Tiempo de cambio de troquel	Ciclos óptimos (min)					
	1	2	3	4	5	6
Antes de SMED	64.03	66.63	64.42	68.75	62.55	61.90
Después de SMED	29.00	29.14	29.27	29.13	29.22	29.80

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{n} \quad (3.37)$$

Donde:

$$\bar{x} = Tiempo\ promedio\ total.$$

$$xi = Tiempo\ promedio\ de\ cada\ ciclo.$$

$$n = Número\ total\ de\ ciclo.$$

$$\bar{x}\ antes = \frac{(64.03+66.63+\cdots+62.55+61.90)}{6} = 64.71\ min \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.38)$$

$$\bar{x}\ despues = \frac{(29+29.14+\cdots+29.22+29.80)}{6} = 29.26\ min \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.39)$$

4. Se determinó la desviación estándar del tiempo promedio del cambio de troquel en prensas, antes de la aplicación de SMED, utilizando la Ecuación 3.40, el resultado se muestra en la Ecuación 3.41.
5. Se determinó la desviación estándar del tiempo promedio del cambio de troquel en prensas, después de la aplicación de SMED, utilizando la Ecuación 3.40, el resultado se muestra en la Ecuación 3.42.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n}(xi-\bar{x})^2}{n-1}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.40)$$

Donde:

$$S = Desviación\ estándar.$$
$$xi = Tiempo\ promedio\ de\ cada\ ciclo.$$
$$\bar{x} = Tiempo\ promedio\ total.$$
$$n = Número\ total\ de\ ciclo.$$

$$S_1\ antes = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n}(xi-\bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(33.121)}{5}} = 2.57\ min \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.41)$$

$$S_2\ despues = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n}(xi-\bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(0.3922)}{5}} = 0.28\ min \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.42)$$

6. Se realizó el cálculo de la desviación estándar común, utilizando la Ecuación 3.43, con base en las desviaciones estándar obtenidas en el paso 4 y 5; el resultado se muestra en la Ecuación 3.44.

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2+(n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.43)$$

Donde:

$$S_P = Desviación\ estándar\ común.$$
$$S_1 = Desviación\ estándar\ del\ proceso\ sin\ SMED.$$
$$S_2 = Desviación\ estándar\ del\ proceso\ con\ SMED.$$
$$n_1 = Número\ total\ de\ ciclos\ del\ proceso\ sin\ SMED.$$
$$n_2 = Número\ total\ de\ ciclos\ del\ proceso\ con\ SMED.$$

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2+(n_2-1)S_2^2}{(n_1+n_2-2)}} = \sqrt{\frac{(6-1)(2.57)^2+(6-1)(0.28)^2}{(6+6-2)}} = 1.82\ min \ldots\ldots \quad (3.44)$$

7. Se formularon la hipótesis nula H_o y alternativa H_1 con el propósito de evaluar si existe una diferencia significativa entre los tiempos promedio del proceso de preparación **sin SMED** (μ_1) y **con SMED** (μ_2) en el cambio de troquel en prensas. Las hipótesis se expresaron de la siguiente manera:

$$H_o: \mu_1 = \mu_2 \ \rightarrow Hipótesis\ nula$$
$$H_1: \mu_1 > \mu_2 \ \rightarrow Hipótesis\ alternativa$$

8. Se estableció un nivel de significancia del 5%, correspondiente a un nivel de confianza del 95% $(1 - \alpha = 0.95)$.
9. Se calculó el valor crítico mediante la Ecuación 3.45 considerando un nivel de confianza del 95 % -lo cual implica un nivel de significancia del 5 % ($\alpha = 0.05$)- y 10 grados de libertad -resultantes de la suma de los tamaños de ambas muestras menos dos $(n_1 + n_2 - 2)$-. Con base en estos datos y mediante la consulta de la tabla t-*Student* (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) se obtuvo el valor c rítico que se muestra en la Ecuación 3.46:

$$t_{a,n_1+n_2-2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.45)$$

$$t_{0.05,(6+6-2)} = t_{0.05,(10)} = 1.812 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.46)$$

10. Se realizó el calculó del estadístico de prueba (t_0) empleando la Ecuación 3.47. El resultado se presenta en la Ecuación 3.48.

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_p\sqrt{\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}}} \quad \text{.....} \quad (3.47)$$

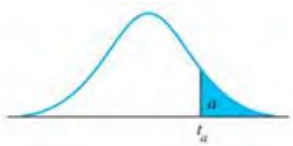
Donde:

$$\bar{x}_1 = Tiempo\ promedio\ del\ proceso\ sin\ SMED.$$

$$\bar{x}_2 = Tiempo\ promedio\ del\ proceso\ sin\ SMED.$$

$$S_p = Desviación\ estándar\ común.$$

Tabla 3.85. Tabla de t-Student para 10 grados de libertad. (Mendenhall et al., 2006) .



df	$t_{.100}$	$t_{.050}$	$t_{.025}$	$t_{.010}$	$t_{.005}$	df
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	1
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	2
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	3
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	4
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	6
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	7
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	8
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	9
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	10

$$n_1 = Número\ total\ de\ ciclos\ del\ proceso\ sin\ SMED.$$

$$n_2 = Número\ total\ de\ ciclos\ del\ proceso\ con\ SMED.$$

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_p\sqrt{\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}}} = \frac{(64.71-29.26)}{1.82\sqrt{\frac{1}{6}+\frac{1}{6}}} = 33.736 \quad \text{.....} \quad (3.48)$$

11. Se verificó la aceptación o rechazo de la hipótesis nula mediante la comparación entre el valor del estadístico de prueba (t_0) (Ecuación 3.24) y el valor crítico $(t_{0.05,(10)})$ (Ecuación 3.22), tal como se indica en la Ecuación 3.49; el resultado de dicha comparación se presenta en la Ecuación 3.50.

$$t_0 > t_{0.05,(10)} \quad (3.49)$$

$$33.736 > 1.8125 \quad (3.50)$$

Con base en la Ecuación 3.50, se observa que el valor de t_0 se encuentra dentro de la región de rechazo. Por lo tanto, hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula H_0 y aceptar la hipótesis alternativa H_1, **validando la reducción del cambio de troquel en prensas después de la aplicación de SMED.**

12. Se elaboró la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que muestra la r egión de rechazo de la hipótesis nula, donde el valor del estadístico de prueba $t_0 = 33.736$ supera el valor crítico $t_{0.05,(10)} = 1.8125$ afirmando la prueba de hipótesis de la mejora tras aplicar SMED.

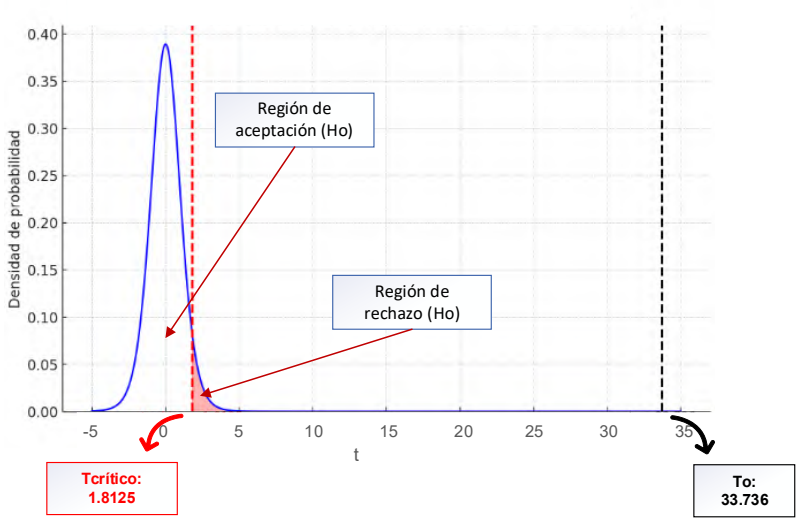


Figura 3.57. Región de rechazo de la prueba de hipótesis. (fuente: elaboración propia).

Una vez aplicada la prueba de hipótesis, se resumió el impacto de la aplicación de SMED en el tiempo de cambio de troquel, siguiendo las siguientes actividades:

- **Comparación del tiempo promedio por turno.** Se observó una reducción significativa del tiempo de cambio de troquel, pasando de 64.71 minutos a 29.26

minutos, representado un ahorro de 35.45 minutos por turno (**¡Error! No se e ncuentra el origen de la referencia.**).

- **Calculó de impacto mensual estimado**. Para determinar este cálculo se consideraron 26 días hábiles y 3 turnos por día. Con base en estos datos la reducción acumulada fue de 46.07 horas productivas al mes (**¡Error! No se encuentra el origen de la r eferencia.**).
- **Reducción porcentual**. Se alcanzó una mejora del 54.78 % en los tiempos de cambio de troquel, tanto a nivel de turno como mensual (**¡Error! No se encuentra el origen d e la referencia.**).
- **Comparación por turno.** Se registró una disminución en el tiempo de cambio de troquel, pasando de 64.71 a 29.26 minutos por turno, representando un ahorro de 35.45 minutos. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** mostró la d isminución del tiempo tras la aplicación de SMED.
- **Comparación mensual.** Con base de una jornada operativa de 26 días hábiles y 3 turnos por día, se observó una reducción de 84.11 a 38.04 horas mensuales, lo que equivale a un ahorro de 46.07 horas productivas. Esta mejora se representó gráficamente en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Tabla 3.86. Impacto de SMED en tiempo de cambio de troquel. (fuente: elaboración propia).

Unidad de tiempo	Días hábiles	Turnos por día	Tiempo sin SMED	Tiempo con SMED	Tiempo ahorrado	Reducción
Por turno	1	3	64.71 min	29.26 min	35.45 min	54.78%
Por mes	26	3	84.11 hrs	38.04 hrs	46.07 hrs	54.78%

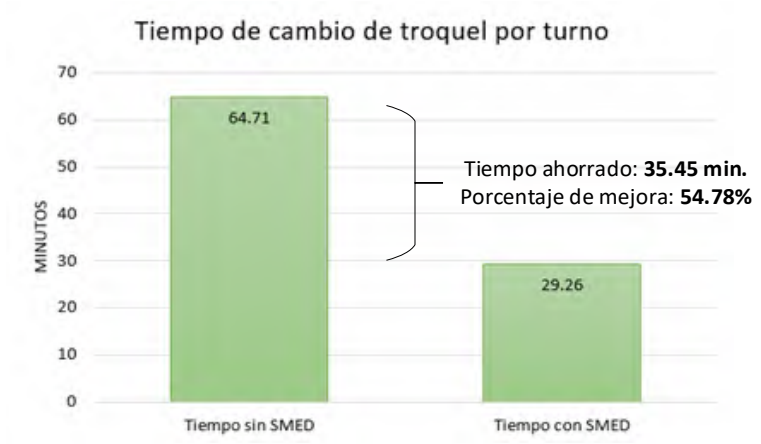


Figura 3.58. Comparación de tiempo de cambio de troquel por turno. (fuente: elaboración propia).

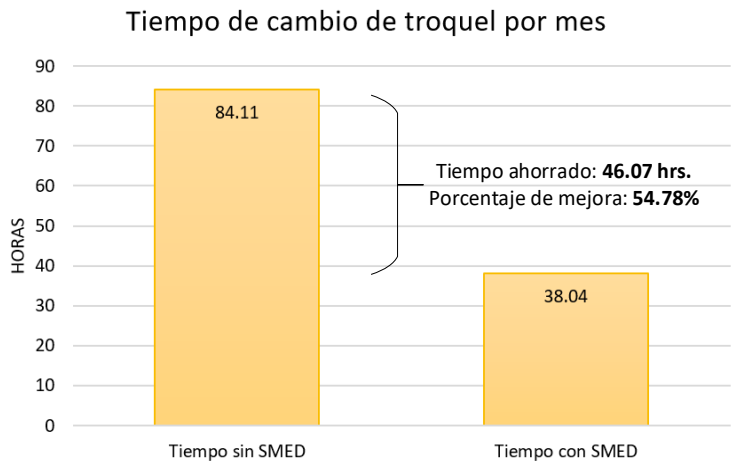


Figura 3.59. Comparación de tiempo de cambio de troquel por mes. (fuente: elaboración propia).

3.16 Controlar los resultados obtenidos

Para dar seguimiento a los resultados a la aplicación de las 5S y SMED en la línea de producción de machetes, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Monitoreo de los cambios obtenidos tras la aplicación de las 5S.

  Para controlar los resultados obtenidos tras la aplicación de las 5S, se recomendó el uso del formato presentado previamente en la Sección 3.11.8, con el propósito de que los supervisores de turno registraran periódicamente las condiciones del área de trabajo. Dicho formato se muestra nuevamente en la Tabla 3.87. Asimismo, se propuso la implementación de capacitaciones sobre las 5S y principios de *Lean*

Manufacturing, dirigidas tanto al personal operativo como administrativo, con el fin de fortalecer la cultura de mejora continua en la línea de producción de machetes.

- Monitoreo de los cambios obtenidos tras la aplicación de SMED.

  Para controlar los resultados obtenidos tras la aplicación de la SMED, se recomendó el uso del formato descrito previamente en la Sección 3.13.2.2, con el objetivo de que los operadores realicen las actividades de preparación, tanto internas como externas, conforme a lo establecido. Este formato, presentado nuevamente en la

Tabla 3.88, permite verificar que cada paso del procedimiento de cambio de referencia se lleve a cabo en tiempo y forma, conforme a las mejoras propuestas.

Tabla 3.87. Formato para monitoreo de las 5S.

(fuente: elaboración propia).

Auditoria de las 5´S	
Empresa:	TecnoMetal
Área:	

Elaboró:	
Fecha:	
Turno:	

Un sitio para cada cosa y cada cosa en su sitio.
No es más limpio el que más limpia sino el que menos ensucia.

Etapa	Descripción	Cumple	No cumple
"*Seiri*" Separar y eliminar objetos innecesarios.	¿Se han retirado todas las herramientas y objetos innecesarios?		
	¿Se han separado correctamente los objetos necesarios de los innecesarios?		
	¿Se han eliminado todos los residuos o productos innecesarios?		
	¿Se ha liberado espacio eliminando todas las acumulaciones de objetos o materiales?		

Etapa	Descripción	Cumple	No cumple
"*Seiton*" Situar e identificar objetos	¿Se han colocado todas las herramientas y materiales en sus lugares designados?		
	¿Se han etiquetado claramente todos los estantes, cajones y contenedores?		
	¿Se ha colocado señalización visual clara para indicar la ubicación de los objetos?		
	¿Se han mantenido los caminos y zonas de trabajo libres y despejadas?		

Etapa	Descripción	Cumple	No cumple
"*Seizo*" Eliminar suciedad	¿Se han limpiado diariamente todas las superficies, equipos y herramientas?		
	¿Se tienen materiales de limpieza en buen estado disponibles para su uso?		
	¿Se han eliminado todas las fuentes de suciedad como fugas o acumulaciones?		
	¿Se han reportado todas las condiciones anormales detectadas durante la limpieza?		

Etapa	Descripción	Cumple	No cumple
"*Seiketsu*" Estandarizar	¿Se han colocado instrucciones visuales claras sobre orden y limpieza?		
	¿Se han aplicado etiquetas, colores y formatos uniformemente en todas las áreas?		
	¿Se usan listas de verificación para asegurar el cumplimiento de los estándares?		
	¿Se ha asegurado que todos sigan los mismos criterios de orden y limpieza?		

Etapa	Descripción	Cumple	No cumple
"*Shitsuke*" Sostener y respetar	¿Se cumple con las 5´S constantemente sin necesidad de supervisión directa?		
	¿Se mantiene el orden y limpieza durante toda la jornada laboral?		
	¿Se participa activamente en el proceso de mejora continua de las 5´S?		
	¿Se demuestra responsabilidad y compromiso con las 5´S en todo momento?		

Tabla 3.88. Verificación de actividades de cambio de troquel en prensas.

(fuente: elaboración propia).

Empresa:	TecnoMetal S.A de C. V	Acción:	Cambio de troquel para prensas	Fecha:	
Elaboró:		Operador:		Turno:	

Lista de verificación de actividades, cambio de troquel para prensas.

No.	Actividades Externa	¡Se realizó la actividad?	
1	Recibir orden para cambio de troquel.	Si	No
2	Buscar la herramienta necesaria para el cambio de troquel.	Si	No
3	Llevar el elevador y la herramienta a la prensa para retirar el troquel.	Si	No
4	Tomar una hoja de papel para calibrar el corte del troquel.	Si	No

No.	Actividades Internas	¡Se realizó la actividad?	
1	Desatornillar los dos tornillos frontales del troquel móvil.	Si	No
2	Ajustar el elevador al troquel móvil.	Si	No
3	Subir el elevador al nivel del troquel móvil para su desmontaje.	Si	No
4	Recorrer a la parte posterior de la prensa para desatornillar la tornillería.	Si	No
5	Desatornillar los dos tornillos posteriores del troquel móvil.	Si	No
6	Bajar el elevador con el troquel móvil hasta retirarlo de la mesa.	Si	No
7	Descender el elevador hasta el nivel del suelo con el troquel móvil.	Si	No
8	Llevar el troquel móvil al área de maquinados para mantenimiento y colocarlo en el lugar asignado.	Si	No
9	Ir por el troquel fijo.	Si	No
10	Colocar el elevador al nivel de la mesa de la prensa.	Si	No
11	Desatornillar y retirar los dos tornillos que sujetan el troquel fijo.	Si	No
12	Empujar el troquel fijo hasta colocarlo en el elevador.	Si	No
13	Bajar el elevador con el troquel fijo hasta el nivel del suelo.	Si	No
14	Llevar troquel fijo usado al área de maquinados para su mantenimiento.	Si	No
15	Colocar el elevador a la altura del rack donde se encuentra el troquel a instalar.	Si	No
16	Llevar el troquel a la prensa.	Si	No
17	Elevar el troquel hasta la base de la prensa.	Si	No
18	Empujar hasta colocarlo en la mesa.	Si	No
19	Retirar el elevador.	Si	No
20	Configurar la máquina en modo semiautomático.	Si	No
21	Calibrar la altura de la máquina.	Si	No
22	Alinear la base de la biela al ras del troquel móvil para su fijación.	Si	No
23	Colocar los cuatro tornillos sin apretarlos completamente.	Si	No
24	Fijar el troquel fijo a la mesa de la prensa.	Si	No
25	Realizar un ciclo automático.	Si	No
26	Ajustar la máquina y apretar los seis tornillos con ayuda de una palanca.	Si	No
27	Aflojar un tornillo para realizar el ajuste necesario.	Si	No
28	Realizar pruebas de corte con la lámina.	Si	No

3.17 Conclusión

La metodología aplicada en este proyecto fue clave para alcanzar el objetivo principal de reducir las ineficiencias operativas en la línea de producción de machetes en la empresa en estudio. A través del enfoque estructurado de mejora continua, se integraron múltiples herramientas de ingeniería industrial: diagrama SIPOC*, Value Stream Mapping* (VSM), el diagrama de Ishikawa, la lluvia de ideas, el método por puntos, la matriz de priorización, las 5S y SMED.

Estas herramientas permitieron, en primer lugar, diagnosticar a profundidad la situación actual de la línea de machetes, identificando los principales desperdicios que afectaban su eficiencia. Posteriormente, fue posible seleccionar áreas críticas, definir indicadores de desempeño relevantes, y clasificar las causas raíz que impactaban negativamente en dichos indicadores.

Con base en estos hallazgos, se aplicaron mejoras mediante la implementación de las 5S para la organización y estandarización del área de trabajo, así como la aplicación de la técnica SMED para optimizar los tiempos de cambio de troquel en prensas. Estas acciones permitieron reducir significativamente los tiempos improductivos y mejorar el aprovechamiento del espacio físico disponible en la línea. Finalmente, se validaron estadísticamente las mejoras obtenidas mediante pruebas t de hipótesis para muestras dependientes e independientes, confirmando así que los cambios implementados generaron resultados positivos y medibles.

Capítulo 4
Resultados

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos tras aplicar la metodología explicada en el capítulo tres, con el objetivo de disminuir las ineficiencias operativas que influyen en los indicadores de productividad en una línea de producción de machetes dentro de una empresa metalmecánica. Además, se presenta un análisis estadístico que confirma la hipótesis planteada, comparando los resultados logrados mediante la aplicación del trabajo estandarizado, las 5S y SMED. También se incluye una sección dedicada a los productos académicos generados durante la investigación, resaltando su contribución en la solución de problemas relacionados con la mejora de los indicadores que afectan la productividad en las líneas de producción.

Discusión

Durante la implementación del proyecto, se aplicaron de manera estructurada las 5S y SMED en la línea de producción de machetes, lo cual permitió una mejora significativa en el área disponible y en los tiempos de cambio de referencia. Estos resultados reflejan el impacto positivo que tiene una metodología sistemática en la eficiencia operativa de los procesos industriales.

La implementación de las 5S fue clave para establecer un entorno de trabajo ordenado, limpio y visualmente controlado. Esta mejora pudo observarse en las tres áreas que componen la línea de producción de machetes. A continuación, se detallan los resultados obtenidos en el la línea de producción de machetes:

- **El área 1: proceso de inicio.** Antes de la aplicación de las 5S, el área disponible era de 183.41 m², tras la implementación se alcanzó un área disponible de 227.35 m², esto representa un incremento de 43.94 m², equivalente a una mejora relativa del 23.95 % en el aprovechamiento del espacio.

- **El área 2: proceso de acabado.** Antes de la aplicación de las 5S, el área disponible era de 57.6 m², tras la implementación se alcanzó un área disponible de 73.55 m², esto representa un incremento de 15.95 m², equivalente a una mejora relativa del 27.69% en el aprovechamiento del espacio.
- **El área 3: proceso inyección de plástico.** Antes de la aplicación de las 5S, el área disponible era de 45.1 m², tras la implementación se alcanzó un área disponible de 55.57 m², esto representa un incremento de 10.47 m², equivalente a una mejora relativa del 23.22% en el aprovechamiento del espacio.

La implementación de SMED en el cambio de troquel en prensas, permitió disminuir el tiempo de máquina detenida y mejorar la programación de la producción, facilitando la fabricación de más piezas. Asimismo, se identificaron y eliminaron actividades que no agregaban valor, tales como la búsqueda de herramientas y desplazamientos innecesarios. A continuación, se detallan los resultados obtenidos:

- **Tiempo de cambio de troquel.** Antes de la aplicación de SMED, el tiempo del cambio de troquel era de 64.71 minutos, tras la implementación se alcanzó un tiempo de 29.26 minutos, esto representa una reducción de 35.45 minutos, equivalente a una mejora relativa del 54.77% en la reducción del tiempo.
- **Proyección de piezas.** Antes de la aplicación de SMED, la maquinaria no registraba producción durante el periodo de cambio de troquel, con una tasa de salida de 0 piezas. Sin embargo, tras la aplicación de SMED y la reducción del tiempo de cambio, se logró proyectar una capacidad de producción de 709 piezas, lo que representó una recuperación del tiempo productivo.

Al finalizar el proyecto, los resultados obtenidos respaldaron la hipótesis inicial, que indicaba la reducción de ineficiencias operativas en línea de producción de machetes, utilizando técnicas de *Lean Manufacturing.* Con base en los resultados, mostrados en la Sección 3.15, se logró validar estadísticamente la mejora de estos indicadores, demostrando una mejora significativa en el aumento de la productividad.

Productos académicos

A lo largo del presente proyecto de investigación se generaron dos productos académicos: el presente proyecto y un artículo publicado en una revista: LATAM REVISTA LATINOAMERICANA DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES 2025, volumen 6, número 4.

El artículo, que tiene como título *"Selección de un área piloto en una industria metalmecánica aplicando herramientas de Ingeniería Industrial"* abordó el proceso de selección de un área piloto dentro de una planta metalmecánica, utilizando herramientas de ingeniería industrial para identificar las áreas con mayores oportunidades de mejora. La aplicación de técnicas como el *Value Stream Mapping* (VSM), el método por puntos, la matriz de priorización para evaluar las ineficiencias operativas en diferentes líneas de producción, la participación del personal operativo y de supervisión fue crucial para la identificación de las áreas críticas y para asegurar la viabilidad de las acciones.

Conclusiones y recomendaciones

En esta sección se dan, de manera resumida, las conclusiones del presente proyecto, destacando las situaciones más relevantes que se presentaron durante su desarrollo. Además, se ofrecen recomendaciones para asegurar la sostenibilidad de las mejoras alcanzadas.

Conclusiones

La investigación desarrollada, orientada a la reducción de ineficiencias operativas en la línea de producción de machetes de la empresa en estudio, mediante la aplicación de herramientas de *Lean Manufacturing*, generó resultados significativos que contribuyeron de manera directa a la mejora de sus operaciones. Con base en la metodología, planteada en el Capítulo 3, se lograron avances en los indicadores evaluados, confirmando la hipótesis inicial de que la aplicación de las 5S y SMED pueden mejorar el uso del espacio, reducir los tiempos de cambio y, en consecuencia, incrementar la productividad.

El trabajo comenzó con un análisis detallado de la situación actual, que incluyó entrevistas con personal directivo, supervisores y operarios, así como recorridos de observación por la planta. Este diagnóstico permitió detectar problemas recurrentes, como acumulación de objetos sin uso, falta de estandarización en la disposición de herramientas y tiempos excesivos en las actividades de ajuste y cambio de referencia en prensas.

El objetivo central fue intervenir sobre dos indicadores clave: espacio ocupado por elementos innecesarios y tiempo de cambio de troquel en prensas. Para abordar estos aspectos, se recurrió a herramientas como SIPOC, diagrama de *Ishikawa*, lluvia de ideas, método por puntos, diagrama relacional y *Value Stream Mapping* (VSM), las cuales permitieron mapear el estado inicial del proceso, identificar cuellos de botella y establecer las causas raíz de las ineficiencias.

Las acciones de mejora incluyeron la aplicación de las 5S para ordenar, clasificar y estandarizar los espacios de trabajo, logrando una disposición de materiales y herramientas;

y la aplicación de SMED, que posibilitó convertir actividades internas en externas y simplificar operaciones, reduciendo así los tiempos improductivos en los cambios de herramienta.

Posteriormente, los resultados fueron evaluados estadísticamente mediante pruebas de hipótesis, comprobando que, tras la mejora, los valores promedio de los dos indicadores fueron significativamente menores en comparación con los obtenidos inicialmente. Entre los logros más relevantes se encuentran el aumento del área disponible en las estaciones de trabajo y la disminución de los tiempos de cambio de cambio de troquel. Estas mejoras repercutieron directamente en una mayor disponibilidad de maquinaria y el incremento de la capacidad productiva.

Por último, el proyecto resolvió problemáticas específicas de la línea de machetes y estableció una metodología práctica y replicable para otras áreas productivas de la empresa. La experiencia confirmó que el uso conjunto de las 5S y SMED, dentro de un enfoque estructurado de *Lean Manufacturing*, es altamente efectivo para mejorar procesos en entornos reales de la industria metalmecánica.

Recomendaciones

Con el objetivo de preservar los beneficios alcanzados en la línea de producción de machetes, así como extenderlos a otras áreas de la empresa, se proponen las siguientes acciones:

1. Implementar un plan de capacitación para el personal operativo y de supervisión, que incluya talleres prácticos sobre 5S y SMED, reforzando la aplicación correcta de las mejoras y fomentando la participación activa en iniciativas de optimización de procesos.
2. Establecer un sistema de monitoreo de indicadores, apoyado en los registros creados durante este proyecto, para evaluar el comportamiento de los tiempos de cambio y la ocupación del espacio. Este seguimiento permitirá detectar desviaciones y aplicar acciones correctivas oportunas.

3. Replicar la técnica SMED en procesos con alto impacto operativo dentro de otras líneas de producción, priorizando aquellos con tiempos de ajuste prolongados o con una alta frecuencia de cambios de referencia, a fin de aumentar la disponibilidad efectiva de maquinaria.
4. Integrar reuniones de coordinación entre las áreas de producción, mantenimiento e ingeniería, para alinear planes de trabajo y minimizar paros no programados.
5. Programar campañas de las 5S, dos o tres veces al año, involucrando a todos los turnos y áreas de la planta, con el fin de mantener el orden, la limpieza y la estandarización como parte de la rutina diaria de trabajo.
6. Documentar las mejores prácticas obtenidas durante el desarrollo de este proyecto en un manual interno, de forma que sirva como referencia para entrenar nuevo personal y para sustentar futuras iniciativas de mejora continua.

La ejecución de estas acciones asegurará la permanencia de los avances logrados e impulsará una cultura organizacional orientada a la eficiencia, la seguridad y la competitividad en toda la planta productiva.

Fuentes de información

Arellano, H. L. E. (2017). *Identificación y reducción de desperdicios operativos en una empresa constructura, utilizando simulación y Lean Construction* Instituto Tecnológico de Orizaba].

Baca, U. G. (2010). *Evaluación de proyectos* (6 ed.). Mc Graw Hill Eduación.

Bernal, R. S., & Niño, S. D. F. (2018). *Modelo multicriterio aplicado a la toma de decisiones representables en diagramas de Ishikawa*

Bolimbo, P. C. P. (2022). *Aplicación de Lean Manufacturing para mejorar la productividad en una empresa Metalmecanica, Lima 2022*

Brad, S. Q. L. (2006). *The Strategos Guide to Value Stream Mapping*.

Burgasí, D. D. D., Cobo, P. D. V., Pérez, S. K. T., Pilacuan, P. R. L., & Rocha, G. M. B. (2021). El diagrama de Ishikawa como herramienta de calidad en la educación: una revisión de los últimos 7 años. *Revista electrónica TAMBARA*, *84*, 1212 - 1230.

Cabrera, C. R. C. (2020). VSM VALUE STREAM MAPPING ANÁLISIS DEL MAPEO DE LA CADENA DE VALOR AGREGADO.

Cadena, I. P., Rendón, M. R., Aguilar, Á. J., Salinas, C. E., & Cruz, M. F. d. R. (2017). Métodos cuantitativos, métodos cualitativos o su combinación en la investigación: un acercamiento en las ciencias sociales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *8*, 1603 - 1617.

Camisón, C., Cruz, S., & Gonzáles, T. (2006). *Gestión de la calidad: conceptos, enfoques, modelos y sitemas*.

Cañedo, I. C. M., Curbelo, H. M. A., Núñez, C. K., & Zamora, F. R. (2012). Los procedimientos de un sistema de gestión de información: Un estudio de caso de la Universidad de Cienfuegos. *Biblios*, *46*, 40-50.

Cárdenas, E. (2018). *Introducción a la Ingenieria de Manufactura*.

Carrillo, L. M. S., Alvis, R. C. G., Mendoza, Á. Y. Y., & Cohen, P. H. E. (2018). Lean manufacturing: 5 s y TPM, herramientas de mejora de la calidad. Caso empresa metalmecánica en Cartagena, Colombia.

Carrillo, L. M. S., Peralta, O. J. T., Severiche, S. C. A., Ortega, V. V. P., & Vargas, L. E. (2021). Reducción de ruido industrial en un proceso productivo metalmecánico: Aplicación de la metodología DMAIC de Lean Seis Sigma. *Entre Ciencia e Ingenieria*, *15*, 41-48

Cruelles, R. J. A. (2012). *Mejora de métodos y tiempos de fabricación* (S. A. Marcombo, Ed.) https://books.google.com.mx/books?id=ektOEAAAQBAJ&pg=PP29&source=gbs_toc_r&cad=2#v=onepage&q&f=false

De Garmo, E. P., Black, J. T., & Kohser, R. A. (2019). *Materiales y procesos de fabricación*.

Empresa en estudio. (2024). *Departamento de recursos humanos*.

Empresa en estudio. (2025). *Catalogo de productos TecnoMetal*.

Falcó, R. A. R. (2009). Herramientas de calidad.

Flores, Z. M. (2024). *Mejora de los indicadores que afectan la productividad en una empresa del centro del estado de Veracruz, mediante las fases DMAIC* Instituto Tecnológico de Orizaba].

Galindo, D. H. (2020). *Estadística para no estadísticos, una guía básica sobre la metodología cuantitativa de trabajos académicos.*

García, C. E. E., & Solano, G. J. A. (2017). *Guía práctica de estudio 04: Diagramas de flujo*.

García, C. M., & Amador, G. A. (2019). Cómo aplicar "Value stream mapping" (VSM). *3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, *8*.

García, C. R. (2011). *Estudio del trabajo ingeniería de métodos y medición del trabajo*.

Gil, G. M. Á., Sanz, A. P., Benito, M. J. J., & Galindo, M. J. (2012). Definición de una metodología para una aplicación práctica del SMED. *Técnica Industrial*, *298*, 46-54.

González, G. H., & Escobar, P. C. A. (2021). Aplicación de la herramienta SIPOC a la cadena de suministro interna de una empresa distribuidora de medicamentos. *Naturaleza, innovación y tecnologia*, *2*, 119-134.

González, V. E., Beltrán, E. L. E., Cano, C. A., & Valenzuela, M. A. (2017). SMED: Reducción de tiempos de cambio de la línea de producción maíz en el área de empaque de una empresa elaboradora de botanas en la Región Sur de Sonora *Administracion y Finanzas*, *4*, 16 - 29.

Gutiérrez, Á. Á. M., Lorena, B. Y., & Lozano, I. (2004). Presentación de datos. *Revista Ciencias de la Salud*, *2*, 65-73.

Hernández, L. E. J., Camargo, C. Z. M., & Martínez, S. P. M. T. (2015). Impacto de las 5S en la productividad, calidad, clima organizacional y seguridad industrial en la empresa Cauchometal Ltda. *Revista chilena de ingeniería*, *23*, 107 - 117.

Klein Tools. (2020). Herramientas manuales a través de la historia. https://www.kleintools.com.mx/blog/herramientas-manuales-trav-s-de-la-historia

Macmillan Profesional. (2017). Lluvia de ideas.

Manzano, R. M., & Gisbert, S. V. (2016). Lean Manufacturing Implantación 5s. *3c Tecnología*, *5*, 16-26.

Martínez, Á. M., Fuente, R. E., Ramírez, A. D., & Carrasco, S. S. (2019). Estudiantes foráneos y el diagrama de Ishikawa. *Nextia*, *7*.

Medina, V. J., Ortiz, F., Franco, C. A., & Aranzazú, C. (2010). Matriz de Priorización para la Toma de Decisiones *Universidad del valle*.

Mendenhall, W., Beaver, R. J., & Beaver, B. M. (2006). *Introducción a la probabilidad y estadística*. Cengage Learning Editores.

Montoya, C. M. J. (2018). *Metodología DMAIC para disminuir pérdidas de materia prima en proceso de manufactura de persianas* Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria].

Ortiz, F. F. (2024). Material no publicado, Value Stream Mapping VSM. In *Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial*. Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz.

Padilla, Y. D. E. (2012). Estudio de tiempos y movimientos en el feanamiento del ganado bovino y porcino del camal municipal de Santo Domingo de los Tsachilas. 40.

Pascual, R. M. A. (2023). *Aplicación de herramientas de producción esbelta en granjas acuícola de arel*

Pérez, D. L. A., Pérez, B. J. J., García, V. L. A., & Gómez-Zepeda, P. I. (2020). Aplicación de metodología DMAIC en la resolución de problemas de calidad. *Mundo Fesc.*, *10*, 55 - 66.

Pérez, S. V. (2017). Metodología dinámica para la implementación de 5's en el área de producción de las organizaciones. *Revista Ciencias Estratégicas*, *25*.

Pico, J. M., & Ramos, A. Y. (2024). Estudio de tiempos y movimientos en el área de almacenamiento de una comercializadora avícola. *''INGENIAR'': Ingeniería, Tecnología e Investigación.*, *7*, 50-51.

Plúas, R. M. G., Méndez, M. M. O., Plúas, R. D. R., & Huayamave, R. Á. R. (2019). Mejoramiento del proceso continuo mediante la aplicación de la metodologia DMAIC en la línea de producción chocolatera de una empresa alimenticia. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, *23*, 14-22.

Prada, D. (2023). *Historia de als herramientas manuales*.

Quishpe, F. J. (2021). Análisis y optimización en la producción de envases de cartón, empleando el value stream mapping. *Revista Universidad y Sociedad*, *13*, 536 - 542.

Restrepo, C. J. H., Medina, V. P. D., & Cruz, T. E. A. (2009). Cómo reducir el tiempo de preparación. *Scientia Et Technica*, *15*, 177-180.

Rivas, R. R., Roy, G. I., Pérez, R. M., Berea, R., Moreno, P. J., Moreno, N. M., Palacios, C., Lino , & Ureña, W. K. R. (2020). Pertinencia e impertinencia de los gráficos en la investigación clínica. *Alergia México*, *4*, 381-396.

Rodrigues, N. (2024). Diagrama de Ishikawa: qué es, cómo hacerlo y ejemplos. *HubSpot*. https://blog.hubspot.es/sales/diagrama-ishikawa?utm_source=chatgpt.com

Rojas, N. M. (2011). *Aplicación del sistema smed en el área de prensado de la empresa manufacturera corona clipper S.A de C.V.*

Romero, J. I. (2021). *Propuesta de mejora en procesos de servicio mediante el uso de value stream mapping. caso de estudio en el área de operaciones en la empresa electroequipos colombia s.a.s.* Universidad de bogotá Jorge Tadeo Lozano].

Saavedra, J. A. (2023). Qué es la lluvia de ideas y cómo hacerla: técnicas y ejemplos. *Escuela Britanica de Artes creativas y tecnologiaca, EBAC*.

Schvab, L. (2011). Guía didáctica. In M. Hill (Ed.), *Máquinas y herramientas*.

Silvestre, A. Á. E. (2022). *Mejoramiento de procesos de almacén en una empresa de servicios industriales en la zona centro del estado de veracruz para reducir el tiempo de servicio y pérdidas de materiales y herramientas"*

Socconini, L. (2020). *LEAN MANUFACTURING PASO A PASO*.

Sócola, L. A. H., Medina, M. A., & Olaya, G. L. M. (2020). Las 5S herramienta innovadora para mejorar la productividad. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*.

Sophie, T. A. (2011). Mejoras de Lean Manufacturing en los sistemas productivos. *Ciencia y Sociedad*.

UAN, S. O. d. C. (2010). *Manual de 5´S s +1*.

Ugalde, R. M. P. (2005). Manuales de procedimientos y diagramas de flujo en la administracion de archivos. In.

Universidad del Desarrollo. (2021). *Lluvia de ideas o brainstorming*.

Vargas, C. E. L., & Camero, J. J. W. (2021). Aplicación del Lean Manufacturing (5s y Kaizen) para el incremento de la productividad en el área de producción de adhesivos acuosos de una empresa manufacturera. *Industrial Data*.

Villafuerte, M. J. M. (2019). *Mejora del proceso productivo lácteo mediante la aplicación de DMAIC* Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas].

Villalobos, M. B. A. (2015). *Reducción de los tiempos de entrega en la línea de Producción de la empresa COATS*

Walpole, R., H. Myers, R., L. Myers, S., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. PEARSON.

Anexo 1

Evaluación de criterios

En este anexo se presentan las evaluaciones realizadas, para apoyar la "Evaluación de procesos en función de los criterios B al E" descrita la sección 3.6.1, con el objetivo de determinar el proceso a mejorar.

Tabla A1.1. Priorización de las alternativas de disposición con base en el criterio B. (fuente: elaboración propia).

Priorización del criterio B: Acumulación de inventario entre proceso

Realizado por:	I.P.L.			**Planta:**	TecnoMetal S.A. de C.V.
Calificado por:	I.P.L.	**Aprobado por:**	J.I.V.S.	**Fecha:**	20/02/2025

Procesos por evaluar	
1.	Remachadora
2.	Lijadora
3.	Laminado

Escala de valoración	
1	Misma importancia.
5	Significativamente más importante
10	Mucho más importante
1/5	Significativamente menos importante
1/10	Mucho menos importante

	Remachadora	**Lijadora**	**Laminado**	**Total**	**Porcentaje**
Remachadora		1/10	5	6.1	25.95%
Lijadora	10		1/5	11.2	47.65%
Laminado	1/5	5		6.2	26.38%
Total	11.2	6.1	6.2	23.5	100%

Tabla A1.2. Priorización de las alternativas de disposición con base en el criterio C. (fuente: elaboración propia).

Priorización del criterio C: Tiempo de ciclo por lote

Realizado por:	I.P.L.			**Planta:**	TecnoMetal S.A. de C.V.
Calificado por:	I.P.L.	**Aprobado por:**	J.I.V.S.	**Fecha:**	20/02/2025

Procesos por evaluar	
1.	Remachadora
2.	Lijadora
3.	Laminado

Escala de valoración	
1	Misma importancia.
5	Significativamente más importante
10	Mucho más importante
1/5	Significativamente menos importante
1/10	Mucho menos importante

	Remachadora	Lijadora	Laminado	Total	Porcentaje
Remachadora		1/5	10	11.2	39.43%
Lijadora	5		1/10	6.1	21.47%
Laminado	1/10	10		11.1	39.08%
Total	6.1	11.2	11.1	28.4	100%

Tabla A1.3. Priorización de las alternativas de disposición con base en el criterio D. (fuente: elaboración propia).

Priorización del criterio D: Tasa de salida por minuto limitada

Realizado por:	I.P.L.			**Planta:**	TecnoMetal S.A. de C.V.
Calificado por:	I.P.L.	**Aprobado por:**	J.I.V.S.	**Fecha:**	20/02/2025

Procesos por evaluar	
1.	Remachadora
2.	Lijadora
3.	Laminado

Escala de valoración	
1	Misma importancia.
5	Significativamente más importante
10	Mucho más importante
1/5	Significativamente menos importante
1/10	Mucho menos importante

	Remachadora	Lijadora	Laminado	Total	Porcentaje
Remachadora		5	1/10	6.1	21.47%
Lijadora	1/5		10	11.2	39.43%
Laminado	10	1/10		11.1	39.08%
Total	11.2	6.1	11.1	28.4	100%

Tabla A1.4. Priorización de las alternativas de disposición con base en el criterio E. (fuente: elaboración propia).

Priorización del criterio E: Tiempo excesivo de preparación de maquinaria.

Realizado por:	I.P.L.			**Planta:**	TecnoMetal S.A. de C.V.
Calificado por:	I.P.L.	**Aprobado por:**	J.I.V.S.	**Fecha:**	20/02/2025

Ponderaciones para evaluar	
1	Misma importancia.
5	Significativamente más importante
10	Mucho más importante
1/5	Significativamente menos importante
1/10	Mucho menos importante

Procesos por evaluar	
1.	Remachadora
2.	Lijadora
3.	Laminado

	Remachadora	**Lijadora**	**Laminado**	**Total**	**Porcentaje**
Remachadora		1/10	5	6.1	25.95%
Lijadora	10		1/5	11.2	47.65%
Laminado	1/5	5		6.2	26.38%
Total	11.2	6.1	6.2	23.5	100%

Anexo 2
Registro de observaciones

En este anexo se presentan mediciones realizadas, para evaluar los indicadores (Sección 3.8) en cada una de 3 áreas que conforman la línea de producción de machetes. No obstante, por motivos de confidencialidad, establecidos por TecnoMetal S.A. de C.V., únicamente se permitió incluir del área 1 y 2, dos subáreas representativas, y del área 3, sólo una subárea.

A2.1 Formatos de área 1: Proceso inicial

En esta sección se presentan los registros correspondientes a objetos, materiales y maquinaria de las subáreas de laminador (Tabla A2.1) y prensas (Tabla A2.2), pertenecientes al Área 1.

Tabla A2.1. Registro de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 1: Laminador. (fuente: elaboración propia).

HOJA DE MAQUINARIA, MATERIAL Y OBJETOS INNECESARIOS			Nombre de la subárea: Laminador								Area total (m²): 82.73							
Elaboró: Israel Paredes Lino			Aprobó: José Iván Vázquez Solano								Hoja: 2 de 12							
Reviso: José Iván Vázquez Solano			Empresa: TecnoMetal S.A de C. V								Fecha: 11/03/25							
Datos de identificación			Espacio								Características físicas requeridas							
Número de identificación	Nombre de maquinaria, material u objetos innecesarios.	Abreviatura	Izquierda - derecha (m)	Frente – Posterior (m)	Área para maquinaria o equipo (m²)	Área para material (m²)	Área para espacio del operador (m²)	Area total de cada maquina o equipo (m²)	No. de máquinas / equipos	Area total neta (m²)	110 - AC	440 - AC	Agua	Vapor	Desagüe	Aire comprimido	Gas	Otro
1	Maquinaria	MAQ	4.33	4.5	19.49	---	0	19.49	2	38.97	---	X	---	---	---	---	---	---
2	Bolsas de trapos	OI	0.5	0.4	0.20	---	0	0.20	5	1.00	---	X	---	---	---	---	---	---
3	Cajones de madera	MAT	0.94	1.17	1.10	---	0	1.10	2	2.20	---	---	---	---	---	---	---	---
4	Galones	OI	0.27	0.3	0.08	---	0	0.08	4	0.32	---	---	---	---	---	---	---	---
5	Cubetas	OI	0.3	0.3	0.09	---	0	0.09	6	0.54	X	---	---	---	---	---	---	---
6	Cajones metálicos	MAT	0.85	0.85	0.72	---	0.42	1.14	8	9.14	---	---	---	---	---	---	---	---
7	Grasera	OI	0.45	0.45	0.20	---	0	0.20	1	0.20	---	---	---	---	---	---	---	---
8	Base de mitto.	OI	0.5	0.5	0.25	---	0	0.25	1	0.25	---	---	---	---	---	---	---	---
9	Tarimas	OI	0.85	1.15	0.98	---	0	0.98	1	0.98	---	---	---	---	---	---	---	---
10	Mesa para enderezar	MAT	0.38	0.88	0.33	---	0.19	0.52	2	1.05	---	---	---	---	---	---	---	---
11	Burritos metálicos	OI	0.56	1.22	0.68	---	0	0.68	2	1.37	---	---	---	---	---	---	---	---
12	Rejilla protectora	MAT	0.71	0.94	0.67	---	0	0.67	1	0.67	---	---	---	---	---	---	---	---
13	Carrito metálico	OI	0.73	0.44	0.32	---	0.22	0.54	1	0.54	---	---	---	---	---	---	---	---
14	Carrito metálico	OI	0.93	0.56	0.52	---	0.28	0.80	1	0.80	---	---	---	---	---	---	---	---
15	Carrito metálico	OI	0.91	0.46	0.42	---	0.23	0.65	2	1.30	---	---	---	---	---	---	---	---

Comentarios: El espacio de altura requerido no está incluido			Acciones de mejora	
	Area utilizada (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT + \sum OI)$	59.33		
	Area total útil (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT)$	52.03	a)	Colocar delimitación de maquinas y equipos.
	Area total no útil (m²): $(\sum OI)$	7.3	b)	Retirar equipos no utiles dentro del area.
	Area disponible (m²): (Area total – Area utilizada)	23.4	c)	

Tabla A2.2. Registro de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 1: Prensas. (fuente: elaboración propia).

HOJA DE MAQUINARIA, MATERIAL Y OBJETOS INNECESARIOS			Nombre de la subárea: Prensas								Area total (m²): 60.85							
Elaboró: Israel Paredes Lino			Aprobó: José Iván Vázquez Solano								Hoja: 3 de 12							
Reviso: José Iván Vázquez Solano			Empresa: TecnoMetal S.A de C. V								Fecha: 11/03/25							
Datos de identificación			Espacio								Características físicas requeridas							
Número de identificación	Nombre de maquinaria, material u objetos innecesarios.	Abreviatura	Izquierda - derecha (m)	Frente – Posterior (m)	Área para maquinaria o equipo (m²)	Área para material (m²)	Área para espacio del operador (m²)	Área total de cada maquina o equipo (m²)	No. de máquinas / equipos	Área total neta (m²)	110 - AC	440 - AC	Agua	Vapor	Desagüe	Aire comprimido	Gas	Otro
1	1ra prensa	MAQ	2.13	1.1	2.34	---	0.56	2.90	1	2.90	---	X	---	---	---	---	---	---
2	2da prensa	MAQ	2.13	1.18	2.51	---	0.56	3.07	1	3.07	---	X	---	---	---	---	---	---
3	3ra y 4ta prensa	MAQ	2.63	1.18	3.10	---	0.56	3.66	2	7.33	---	X	---	---	---	---	---	---
4	Tarimas con reproceso	OI	1.25	0.85	1.06	---	0	1.06	5	5.31	---	---	---	---	---	---	---	---
5	Cubeta de grasa	OI	0.3	0.3	0.09	---	0	0.09	1	0.09	---	---	---	---	---	---	---	---
6	Cajones metálicos	MAT	0.85	0.85	0.72	---	0.42	1.14	4	4.57	---	---	---	---	---	---	---	---
7	Cajón para chatarra	MAT	1	1	1.00	---	0.5	1.50	1	1.50	---	---	---	---	---	---	---	---

Comentarios: El espacio de altura requerido no está incluido			Acciones de mejora	
	Area utilizada (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT + \sum OI)$	24.78		
	Area total útil (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT)$	19.37	a)	Colocar delimitación de máquinas y equipos.
	Area total no útil (m²): $(\sum OI)$	5.4	b)	Retirar equipos no útiles dentro del área.
	Area disponible (m²): (Area total – Area utilizada)	36.07	c)	

A2.2 Formatos de área 2: Proceso de acabado

En esta sección se presentan los registros correspondientes a objetos, materiales y maquinaria de las subáreas de bancos de madera (Tabla A2.3) y lacado (Tabla A2.4), pertenecientes al Área 2.

Tabla A2.3. Registro de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 2: Bancos de madera.
(fuente: elaboración propia).

HOJA DE MAQUINARIA, MATERIAL Y OBJETOS INNECESARIOS			Nombre de la subárea: Bancos de madera							Area total (m²): 26.61							
Elaboró: Israel Paredes Lino			Aprobó: José Iván Vázquez Solano							Hoja: 8 de 12							
Reviso: José Iván Vázquez Solano			Empresa: TecnoMetal S.A de C. V							Fecha: 11/03/25							
Datos de identificación			Espacio							Características físicas requeridas							
Número de identificación	Nombre de maquinaria, material u objetos innecesarios.	Abreviatura	Izquierda - derecha (m)	Frente – Posterior (m)	Área para maquinaria o equipo (m²)	Área para material (m²)	Área para espacio del operador (m²)	Área total de cada maquina o equipo (m²)	No. de máquinas / equipos	Área total neta (m²)	110 - AC	440 - AC	Agua	Vapor	Desagüe	Aire comprimido	Gas	Otro
1	Bancos de madera	MAQ	0.71	0.77	0.55	---	0.35	0.90	2	1.79	---	---	---	---	---	---	---	---
2	Banco de madera	MAQ	0.74	0.53	0.39	---	0.37	0.76	1	0.76	---	---	---	---	---	---	---	---
3	Banco de madera	MAQ	0.71	0.86	0.61	---	0.35	0.96	1	0.96	---	---	---	---	---	---	---	---
4	Mesa de troqueles	OI	0.32	0.77	0.25	---	0	0.25	1	0.25	---	---	---	---	---	---	---	---
5	Caja con motores	OI	0.45	1.6	0.72	---	0	0.72	1	0.72	---	---	---	---	---	---	---	---
6	Banco para pruebas	MAQ	0.41	0.71	0.29	---	0.35	0.64	1	0.64	---	---	---	---	---	---	---	---
7	Carros para material	MAT	0.92	0.6	0.55	---	0.18	0.73	1	0.73	---	---	---	---	---	---	---	---
8	Cajón de pruebas	OI	0.67	1.4	0.94	---	0.7	1.64	1	1.64	---	---	---	---	---	---	---	---
9	bolsas de carche	OI	0.75	2.51	1.88	---	1.25	3.13	1	3.13	---	---	---	---	---	---	---	---

Comentarios: El espacio de altura requerido no está incluido				Acciones de mejora
	Area utilizada (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT + \sum OI)$	10.62		
	Area total útil (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT)$	4.88	a)	Colocar delimitación de máquinas y equipos.
	Area total no útil (m²): $(\sum OI)$	5.74	b)	Retirar equipos no útiles dentro del área.
	Area disponible (m²): (Area total – Area utilizada)	15.99	c)	

Tabla A2.4. Registro de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 2: Lacado.
(fuente: elaboración propia).

HOJA DE MAQUINARIA, MATERIAL Y OBJETOS INNECESARIOS			Nombre de la subárea: Lacado							Area total (m²): 88.55							
Elaboró: Israel Paredes Lino			Aprobó: José Iván Vázquez Solano							Hoja: 9 de 12							
Reviso: José Iván Vázquez Solano			Empresa: TecnoMetal S.A de C. V							Fecha: 11/03/25							
Datos de identificación			Espacio							Características físicas requeridas							
Número de identificación	Nombre de maquinaria, material u objetos innecesarios.	Abreviatura	Izquierda - derecha (m)	Frente – Posterior (m)	Área para maquinaria o equipo (m²)	Área para material (m²)	Área para espacio del operador (m²)	Área total de cada maquina o equipo (m²)	No. de máquinas / equipos	Área total neta (m²)	110 - AC	440 - AC	Agua	Vapor	Desagüe	Aire comprimido	Gas	Otro
1	Tren de lacado	MAQ	3.18	17.85	57.76	---	19.43	57.76	1	77.19	---	X	---	---	---	---	---	---
2	Tarima	OI	1.10	0.85	0.93	---	---	0.93	1	0.93	---	---	---	---	---	---	---	---
3	Galones	OI	0.27	0.30	0.081	---	---	0.081	3	2.43	---	---	---	---	---	---	---	---

Comentarios: El espacio de altura requerido no está incluido				Acciones de mejora
	Area utilizada (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT + \sum OI)$	80.55		
	Area total útil (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT)$	77.19	a)	Colocar delimitación de máquinas y equipos.
	Area total no útil (m²): $(\sum OI)$	3.36	b)	Retirar equipos no útiles dentro del área.
	Area disponible (m²): (Area total – Area utilizada)	8.00	c)	

A2.3 Formatos de área 3: Proceso de inyección de plásticos

En esta sección se presentan los registros correspondientes a objetos, materiales y maquinaria de la subárea de inyección de plástico (Tabla A2.5) perteneciente al Área 3.

Tabla A2.5. Registro de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 3: Inyección de plásticos.
(fuente: elaboración propia).

HOJA DE MAQUINARIA, MATERIAL Y OBJETOS INNECESARIOS			**Nombre de la subárea:** Inyección de plásticos								**Area total (m²):** 98.9							
Elaboró: Israel Paredes Lino			**Aprobó:** José Iván Vázquez Solano								**Hoja:** 12 **de** 12							
Reviso: José Iván Vázquez Solano			**Empresa:** TecnoMetal S.A de C. V								**Fecha:** 11/03/25							
Datos de identificación			**Espacio**								**Características físicas requeridas**							
Número de identificación	**Nombre de maquinaria, material u objetos innecesarios.**	**Abreviatura**	**Izquierda - derecha (m)**	**Frente – Posterior (m)**	**Área para maquinaria o equipo (m²)**	**Área para material (m²)**	**Área para espacio del operador (m²)**	**Área total de cada maquina o equipo (m²)**	**No. de máquinas / equipos**	**Área total neta (m²)**	**110 - AC**	**440 - AC**	**Agua**	**Vapor**	**Desagüe**	**Aire comprimido**	**Gas**	**Otro**
1	Máquina para mangos de limas	MAQ	6.04	1.49	9.00	---	1.69	9.00	1	10.69	---	X	---	---	---	---	---	---
2	Máquina de mangos de machetes	MAQ	4.09	3.51	14.35	---	---	14.35	1	14.35	---	X	---	---	---	---	---	---
3	Mesa 1	MAT	2.00	0.72	1.44	---	1	1.44	1	2.44	---	---	---	---	---	---	---	---
4	Mesa 2	MAT	2.95	0.94	2.77	---	3.41	2.77	1	6.19	---	---	---	---	---	---	---	---
5	Maquina trituradora	MAQ	1.30	1.00	1.30	---	0.30	1.30	1	1.60	X	---	---	---	---	---	---	---
6	Recolector de maquina trituradora	MAT	0.60	0.60	0.36	---	---	0.36	1	0.36	---	---	---	---	---	---	---	---
7	Cajón de mangos de limas	MAT	0.94	0.94	0.88	---	---	0.88	2	1.77	---	---	---	---	---	---	---	---
8	Bote de basura	MAT	1.20	0.51	0.61	---	---	0.61	1	0.61	---	---	---	---	---	---	---	---
9	Producto terminado	MAT	1.60	1.60	2.56	---	0.43	2.56	1	2.99	---	---	---	---	---	---	---	---
10	Cajón	OI	0.94	0.94	0.88	---	---	0.88	2	1.77	---	---	---	---	---	---	---	---
11	Cajones verdes	OI	1.17	0.7	0.82	---	---	0.82	6	4.91	---	---	---	---	---	---	---	---
12	Refrigeración de máquinas	MAQ	1.56	0.86	1.34	---	---	1.34	1	1.34	---	---	---	---	---	---	---	---
13	Botes metálicos	OI	0.62	0.62	0.38	---	---	0.38	3	1.15	---	---	---	---	---	---	---	---
14	Botes de plástico	OI	0.57	0.57	0.32	---	---	0.32	2	0.65	---	---	---	---	---	---	---	---
15	Tarimas con cartones	OI	1.17	0.85	0.99	---	---	0.99	2	1.99	---	---	---	---	---	---	---	---
16	Bolsa de alimentacion para maquinaria	MAT	1.17	0.85	0.99	---	---	0.99	1	0.99	---	---	---	---	---	---	---	---

Comentarios: El espacio de altura requerido no está incluido			**Acciones de mejora**
	Area utilizada (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT + \sum OI)$	**53.8**	
	Area total útil (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT)$	**43.33**	a) Colocar delimitación de máquinas y equipos.
	Area total no útil (m²): $(\sum OI)$	**10.47**	b) Retirar equipos no útiles dentro del área.
	Area disponible (m²): (Area total – Area utilizada)	**45.1**	c) Colocar estante para acomodar las referencias de cajas.

Anexo 3

Layout de objetos innecesarios, materiales y maquinaria

En este anexo se presentan *layouts* de objetos innecesarios, materiales y maquinaria, para evaluar los indicadores, descritos en la Sección 3.8, en cada una de las tres áreas que conforman la línea de producción de machetes. Es importante mencionar, que, por motivos de confidencialidad, establecidos por TecnoMetal S.A. de C.V., únicamente se permitió incluir del área 1 y 2, dos subáreas representativas, y del área 3, sólo una subárea.

A3.1 Formatos de área 1: Proceso inicial

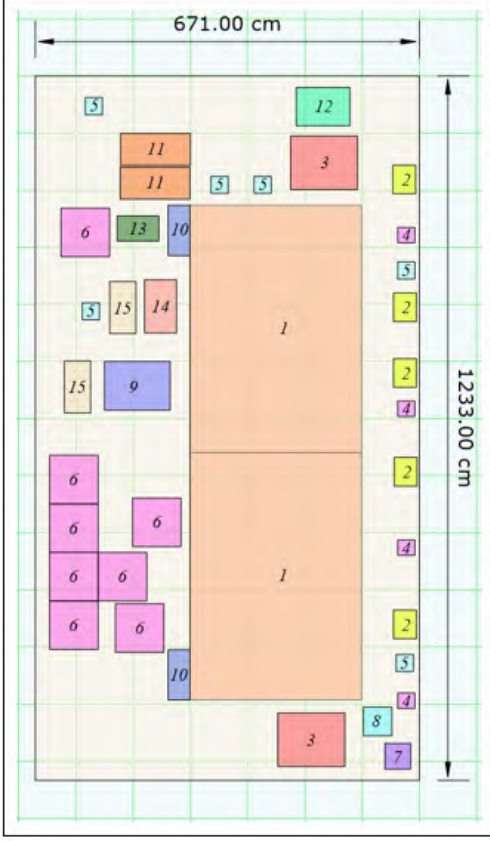
En esta sección se presentan los *layouts* correspondientes a la distribución de objetos innecesarios, materiales y maquinaria en las subáreas de laminador (Tabla A3.1) y prensas (

Tabla A3.2), pertenecientes al Área 1.

Tabla A3.1. Layout de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 2: Laminador.
(fuente: elaboración propia).

LAYOUT DE MAQUINARIA, MATERIAL Y OBJETOS INNECESARIOS	**Nombre de la subárea:** Laminador	**Area total (m²):** 82.73
Elaboró: Israel Paredes Lino	**Aprobó:** José Iván Vázquez Solano	**Hoja:** 2 **de** 12
Reviso: José Iván Vázquez Solano	**Empresa:** TecnoMetal S.A de C. V	**Fecha:** 20/03/25

Layout



Operación	Medida	Unidades
Izq. – Der.	12.33	m
Fre. – Pos.	6.71	m
Area total: $((Izq. - Der.) * (Fre. - Pos.))$	82.73	m²
Area utilizada: $(\sum MAQ + \sum MAT + \sum OI)$	59.33	m²
Area total útil: $(\sum MAQ + \sum MAT)$	52.03	m²
Area total no útil: $(\sum OI)$	7.3	m²
Area disponible: (Area total – Area utilizada)	23.4	m²

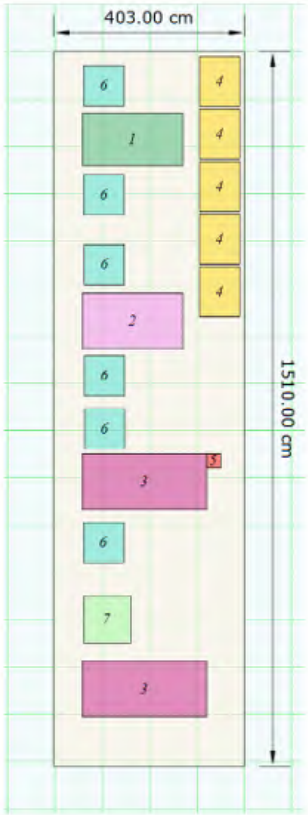
No.	Nombre	Abreviatura
1	Maquinaria	MAQ
2	Bolsas de trapos	OI
3	Cajones de madera	MAT
4	Galones	OI
5	Cubetas	OI
6	Cajones metalicos	MAT
7	Grasera	OI
8	Base de mtto.	OI
9	Tarimas	OI
10	Mesa para enderezar	MAT
11	Burritos metalicos	OI
12	Rejilla protectora	MAT
13	Carrito metalico	OI
14	Carrito metalico	OI
15	Carrito metalico	OI

Escala:	1 cuadrado = 1 m²

Tabla A3.2. Layout de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 3: Prensa. (fuente: elaboración propia).

LAYOUT DE MAQUINARIA, MATERIAL Y OBJETOS INNECESARIOS	Nombre de la subárea: Prensas	Area total (m²): 60.85
Elaboró: Israel Paredes Lino	Aprobó: José Iván Vázquez Solano	Hoja: 3 de 12
Reviso: José Iván Vázquez Solano	Empresa: TecnoMetal S.A de C. V	Fecha: 20/03/25

Layout



Operación	Medida	Unidades
Izq. – Der.	15.10	m
Fre. – Pos.	4.03	m
Área total: $((Izq. - Der.) * (Fre. - Pos.))$	60.85	m²
Área utilizada: $(\sum MAQ + \sum MAT + \sum OI)$	24.78	m²
Area total útil: $(\sum MAQ + \sum MAT)$	19.37	m²
Area total no útil: $(\sum OI)$	5.4	m²
Area disponible: (Area total – Area utilizada)	36.07	m²

No.	Nombre	Abreviatura
1	1ra prensa	MAQ
2	2da prensa	MAQ
3	3ra y 4ta prensa	MAQ
4	Tarimas con reproceso	OI
5	Cubeta de grasa	OI
6	Cajones metalicos	MAT
7	Cajón para chatarra	MAT

Escala:	1 cuadrado = 1 m²

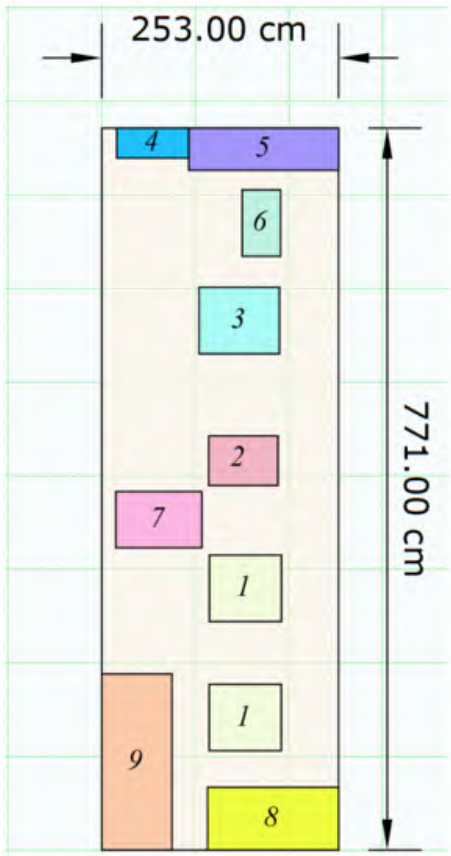
A3.2 Formatos de área 2: Proceso de acabado

En esta sección se presentan los *layouts* correspondientes a la distribución de objetos innecesarios, materiales y maquinaria en las subáreas de bancos de madera (Tabla A3.3) y lacado mostrado en la Tabla A3.4, pertenecientes al Área 2.

Tabla A3.3. Layout de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 8: Bancos de madera.
(fuente: elaboración propia).

LAYOUT DE MAQUINARIA, MATERIAL Y OBJETOS INNECESARIOS	Nombre de la subárea: Bancos de madera	Area total (m²): 19.50
Elaboró: Israel Paredes Lino	Aprobó: José Iván Vázquez Solano	Hoja: 8 de 12
Revisó: José Iván Vázquez Solano	Empresa: TecnoMetal S.A de C. V	Fecha: 20/03/25

Layout



Operación	Medida	Unidades
Izq. – Der.	7.71	m
Fre. – Pos.	2.53	m
Area total: $((Izq. - Der.) * (Fre. - Pos.))$	19.50	m²
Area utilizada: $(\sum MAQ + \sum MAT + \sum OI)$	10.62	m²
Area total útil: $(\sum MAQ + \sum MAT)$	4.88	m²
Area total no útil: $(\sum OI)$	5.74	m²
Area disponible: (Area total – Area utilizada)	8.88	m²

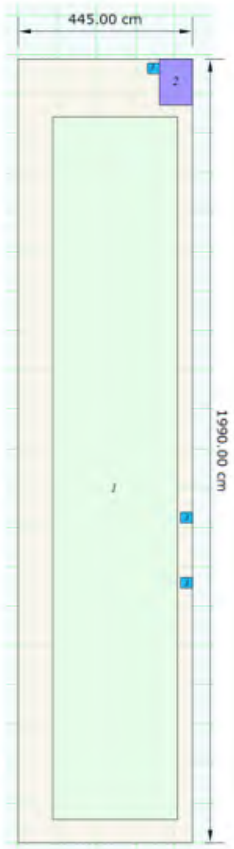
No.	Nombre	Abreviatura
1	Bancos de madera	MAQ
2	Banco de madera	MAQ
3	Banco de madera	MAQ
4	Mesa de troqueles	OI
5	Caja con motores	OI
6	Banco para pruebas	MAQ
7	Carros para material	MAT
8	Cajón de pruebas	OI
9	Bolsas de carche	OI

Escala:	1 cuadrado = 1 m²

Tabla A3.4. Layout de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 9: Lacado. (fuente: elaboración propia).

LAYOUT DE MAQUINARIA, MATERIAL Y OBJETOS INNECESARIOS	Nombre de la subárea: Lacado	Area total (m²): 88.55
Elaboró: Israel Paredes Lino	**Aprobó:** José Iván Vázquez Solano	**Hoja:** 9 **de** 12
Revisó: José Iván Vázquez Solano	**Empresa:** TecnoMetal S.A de C. V	**Fecha:** 20/03/25

Layout



Operación	Medida	Unidades
Izq. – Der.	19.90	m
Fre. – Pos.	4.45	m
Área total: $((Izq. - Der.) * (Fre. - Pos.))$	88.55	m²
Area utilizada: $(\sum MAQ + \sum MAT + \sum OI)$	80.55	m²
Área total útil: $(\sum MAQ + \sum MAT)$	77.19	m²
Área total no útil: $(\sum OI)$	3.36	m²
Area disponible: (Area total – Area utilizada)	8.00	m²

No.	Nombre	Abreviatura
1	Tren de lacado	MAQ
2	Tarima	OI
3	Galones	OI

Escala:	1 cuadrado = 1 m²

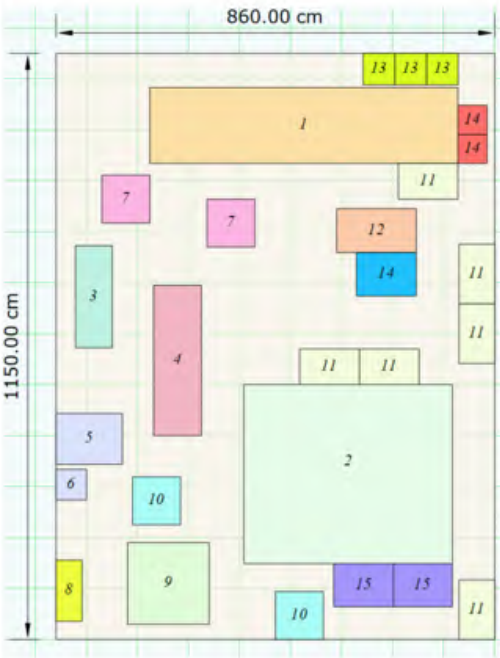
A3.3 Formatos de área 3: Proceso de inyección de plástico

En esta sección se presentan los *layouts* correspondientes a la distribución de objetos innecesarios, materiales y maquinaria de la subárea inyección de plásticos (Tabla A3.5), perteneciente al área 3.

Tabla A3.5. Layout de objetos, materiales y maquinaria de la subárea 1: Inyección de plásticos.
(fuente: elaboración propia).

LAYOUT DE MAQUINARIA, MATERIAL Y OBJETOS INNECESARIOS	Nombre de la subárea: Inyección de plásticos	Area total (m²): 98.9
Elaboró: Israel Paredes Lino	Aprobó: José Iván Vázquez Solano	Hoja: 12 de 12
Reviso: José Iván Vázquez Solano	Empresa: TecnoMetal S.A de C. V	Fecha: 20/03/25

Layout



Operación	Medida	Unidades
Izq. – Der.	11.50	m
Fre. – Pos.	8.60	m
Area total: $((Izq. - Der.) * (Fre. - Pos.))$	98.9	m²
Area utilizada: $(\sum MAQ + \sum MAT + \sum OI)$	53.8	m²
Area total útil: $(\sum MAQ + \sum MAT)$	43.33	m²
Area total no útil: $(\sum OI)$	10.47	m²
Area disponible: (Area total – Area utilizada)	45.1	m²

No.	Nombre	Abreviatura
1	Maquinaria	MAQ
2	Bolsas de trapos	OI
3	Cajones de madera	MAT
4	Galones	OI
5	Cubetas	OI
6	Cajones metalicos	MAT
7	Grasera	OI
8	Base de mtto.	OI
9	Tarimas	OI
10	Mesa para enderezar	MAT
11	Burritos metalicos	OI
12	Rejilla protectora	MAT
13	Carrito metalico	OI
14	Carrito metalico	OI
15	Carrito metalico	OI

Escala:	1 cuadrado = 1 m²

Anexo 4

Layout de materiales y maquinaria

En este anexo se presentan mediciones realizadas después de aplicar las 5S (Sección 3.11) en cada una de 3 áreas que conforman la línea de producción de machetes. No obstante, por motivos de confidencialidad, establecidos por la empresa en estudio. únicamente se permitió incluir del área 1 y 2, dos subáreas representativas, y del área 3, sólo una subárea.

A4.1 Formatos de área 1: Proceso inicial

En esta sección se presentan los registros correspondientes a materiales y maquinaria de las subáreas de laminador (Tabla A4.1) y prensas (

Tabla A4.2), pertenecientes al Área 1.

Tabla A4.1. Medición de espacio después de la mejora subárea: laminador. (fuente: elaboración propia).

HOJA DE MAQUINARIA, MATERIAL Y OBJETOS INNECESARIOS			**Nombre de la subárea:** Laminador								**Área total (m²):** 82.73							
Elaboró: Israel Paredes Lino			**Aprobó:** José Iván Vázquez Solano								**Hoja:** 2 **de** 12							
Reviso: José Iván Vázquez Solano			**Empresa:** Empresa en estudio								**Fecha:** 11/03/25							
Datos de identificación			**Espacio**								**Características físicas requeridas**							
Número de identificación	**Nombre de maquinaria, material u objetos innecesarios.**	**Abreviatura**	**Izquierda - derecha (m)**	**Frente – Posterior (m)**	**Área para maquinaria o equipo (m²)**	**Área para material (m²)**	**Área para espacio del operador (m²)**	**Área total de cada maquina o equipo (m²)**	**No. de máquinas / equipos**	**Área total neta (m²)**	**110 - AC**	**440 - AC**	**Agua**	**Vapor**	**Desagüe**	**Aire comprimido**	**Gas**	**Otro**
1	Maquinaria	MAQ	4.33	4.5	19.49	---	0	19.49	2	38.97	---	X	---	---	---	---	---	---
2	Bolsas de trapos	MAT	0.5	0.4	0.20	---	0	0.20	1	.20	---	X	---	---	---	---	---	---
3	Cajones de madera	MAT	0.94	1.17	1.10	---	0	1.10	2	2.20	---	---	---	---	---	---	---	---
6	Cajones metálicos	MAT	0.85	0.85	0.72	---	0.42	1.14	8	9.14	---	---	---	---	---	---	---	---
10	Mesa para enderezar	MAT	0.38	0.88	0.33	---	0.19	0.52	2	1.05	---	---	---	---	---	---	---	---
Comentarios: El espacio de altura requerido no está incluido		**Área utilizada (m²):** $(\sum MAQ + \sum MAT + \sum OI)$						**51.56**			**Acciones de mejora**							
		Área total útil (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT)$						**51.56**			a)	Colocar delimitación de máquinas y equipos.						
		Área total no útil (m²): $(\sum OI)$						**0**			b)	Retirar equipos no útiles dentro del área.						
		Área disponible (m²): (Área total – área utilizada)						**31.17**			c)							

Tabla A4.2. Medición de espacio después de la mejora subárea: prensas. (fuente: elaboración propia).

HOJA DE MAQUINARIA, MATERIAL Y OBJETOS INNECESARIOS			Nombre de la subárea: Prensas								Área total (m²): 60.85							
Elaboró: Israel Paredes Lino			Aprobó: José Iván Vázquez Solano								Hoja: 3 de 12							
Reviso: José Iván Vázquez Solano			Empresa: Empresa en estudio								Fecha: 11/03/25							
Datos de identificación			Espacio								Características físicas requeridas							
Número de identificación	Nombre de maquinaria, material u objetos innecesarios.	Abreviatura	Izquierda - derecha (m)	Frente – Posterior (m)	Área para maquinaria o equipo (m²)	Área para material (m²)	Área para espacio del operador (m²)	Área total de cada maquina o equipo (m²)	No. de máquinas / equipos	Área total neta (m²)	110 - AC	440 - AC	Agua	Vapor	Desagüe	Aire comprimido	Gas	Otro
1	1ra prensa	MAQ	2.13	1.1	2.34	---	0.56	2.90	1	2.90	---	X	---	---	---	---	---	---
2	2da prensa	MAQ	2.13	1.18	2.51	---	0.56	3.07	1	3.07	---	X	---	---	---	---	---	---
3	3ra y 4ta prensa	MAQ	2.63	1.18	3.10	---	0.56	3.66	2	7.33	---	X	---	---	---	---	---	---
4	Cajones metálicos	MAT	0.85	0.85	0.72	---	0.42	1.14	4	4.57	---	---	---	---	---	---	---	---
5	Cajón para chatarra	MAT	1	1	1.00	---	0.5	1.50	1	1.50	---	---	---	---	---	---	---	---

Comentarios: El espacio de altura requerido no está incluido				
	Área utilizada (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT + \sum OI)$	12.27	Acciones de mejora	
	Área total útil (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT)$	12.27	a)	Colocar delimitación de máquinas y equipos.
	Área total no útil (m²): $(\sum OI)$	0	b)	Retirar equipos no útiles dentro del área.
	Área disponible (m²): (Área total – área utilizada)	48.58	c)	

A4.2 Formatos de área 2: Proceso de acabado

En esta sección se presentan los registros correspondientes a materiales y maquinaria de las subáreas de bancos de madera (Tabla A4.3) y lacado (Tabla A4.4), pertenecientes al Área 2.

Tabla A4.3. Medición de espacio después de la mejora subárea: bancos de madera. (fuente: elaboración propia).

HOJA DE MAQUINARIA, MATERIAL Y OBJETOS INNECESARIOS			**Nombre de la subárea:** Bancos de madera								**Área total (m²):** 26.61							
Elaboró: Israel Paredes Lino			**Aprobó:** José Iván Vázquez Solano								**Hoja:** 8 **de** 12							
Revisó: José Iván Vázquez Solano			**Empresa:** Empresa en estudio								**Fecha:** 11/03/25							
Datos de identificación			**Espacio**								**Características físicas requeridas**							
Número de identificación	**Nombre de maquinaria, material u objetos innecesarios.**	**Abreviatura**	**Izquierda - derecha (m)**	**Frente – Posterior (m)**	**Área para maquinaria o equipo (m²)**	**Área para material (m²)**	**Área para espacio del operador (m²)**	**Área total de cada maquina o equipo (m²)**	**No. de máquinas / equipos**	**Área total neta (m²)**	**110 - AC**	**440 - AC**	**Agua**	**Vapor**	**Desagüe**	**Aire comprimido**	**Gas**	**Otro**
1	Bancos de madera	MAQ	0.71	0.77	0.55	---	0.35	0.90	2	1.79	---	---	---	---	---	---	---	---
2	Banco de madera	MAQ	0.74	0.53	0.39	---	0.37	0.76	1	0.76	---	---	---	---	---	---	---	---
3	Banco de madera	MAQ	0.71	0.86	0.61	---	0.35	0.96	1	0.96	---	---	---	---	---	---	---	---
4	Mesa de troqueles	MAQ	0.32	0.77	0.25	---	0	0.25	1	0.25	---	---	---	---	---	---	---	---
6	Banco para pruebas	MAQ	0.41	0.71	0.29	---	0.35	0.64	1	0.64	---	---	---	---	---	---	---	---
7	Carros para material	MAT	0.92	0.6	0.55	---	0.18	0.73	1	0.73	---	---	---	---	---	---	---	---

Comentarios: El espacio de altura requerido no está incluido				
	Área utilizada (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT + \sum OI)$	**5.13**	**Acciones de mejora**	
	Área total útil (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT)$	**5.13**	a)	Colocar delimitación de máquinas y equipos.
	Área total no útil (m²): $(\sum OI)$	**0**	b)	Retirar equipos no útiles dentro del área.
	Área disponible (m²): (Área total – área utilizada)	**21.48**	c)	

Tabla A4.4. Medición de espacio después de la mejora subárea: lacado. (fuente: elaboración propia).

HOJA DE MAQUINARIA, MATERIAL Y OBJETOS INNECESARIOS			**Nombre de la subárea:** Lacado								**Área total (m²):** 88.55							
Elaboró: Israel Paredes Lino			**Aprobó:** José Iván Vázquez Solano								**Hoja:** 9 **de** 12							
Revisó: José Iván Vázquez Solano			**Empresa:** Empresa en estudio								**Fecha:** 11/03/25							
Datos de identificación			**Espacio**								**Características físicas requeridas**							
Número de identificación	**Nombre de maquinaria, material u objetos innecesarios.**	**Abreviatura**	**Izquierda - derecha (m)**	**Frente – Posterior (m)**	**Área para maquinaria o equipo (m²)**	**Área para material (m²)**	**Área para espacio del operador (m²)**	**Área total de cada maquina o equipo (m²)**	**No. de máquinas / equipos**	**Área total neta (m²)**	**110 - AC**	**440 - AC**	**Agua**	**Vapor**	**Desagüe**	**Aire comprimido**	**Gas**	**Otro**
1	Tren de lacado	MAQ	3.18	17.85	57.76	---	19.43	57.76	1	77.19	---	X	---	---	---	---	---	---
2	Tarima	OI	1.10	0.85	0.93	---	---	0.93	1	0.93	---	---	---	---	---	---	---	---

Comentarios: El espacio de altura requerido no está incluido				
	Área utilizada (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT + \sum OI)$	**78.12**	**Acciones de mejora**	
	Área total útil (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT)$	**78.12**	a)	Colocar delimitación de máquinas y equipos.
	Área total no útil (m²): $(\sum OI)$	**0**	b)	Retirar equipos no útiles dentro del área.
	Área disponible (m²): (Área total – área utilizada)	**10.43**	c)	

A4.3 Formatos de área 3: Proceso de inyección de plásticos

En esta sección se presentan los registros correspondientes a materiales y maquinaria de la subárea de inyección de plástico (Tabla A4.5) perteneciente al Área 3.

Tabla A4.5. Medición de espacio después de la mejora subárea: inyección de plásticos. (fuente: elaboración propia).

HOJA DE MAQUINARIA, MATERIAL Y OBJETOS INNECESARIOS			**Nombre de la subárea:** Inyección de plásticos								**Área total (m²):** 98.9							
Elaboró: Israel Paredes Lino			**Aprobó:** José Iván Vázquez Solano								**Hoja:** 12 **de** 12							
Reviso: José Iván Vázquez Solano			**Empresa:** Empresa en estudio								**Fecha:** 11/03/25							
Datos de identificación			**Espacio**								**Características físicas requeridas**							
Número de identificación	**Nombre de maquinaria, material u objetos innecesarios.**	**Abreviatura**	**Izquierda - derecha (m)**	**Frente – Posterior (m)**	**Área para maquinaria o equipo (m²)**	**Área para material (m²)**	**Área para espacio del operador (m²)**	**Área total de cada maquina o equipo (m²)**	**No. de máquinas / equipos**	**Área total neta (m²)**	**110 - AC**	**440 - AC**	**Agua**	**Vapor**	**Desagüe**	**Aire comprimido**	**Gas**	**Otro**
1	Máquina para mangos de limas	MAQ	6.04	1.49	9.00	---	1.69	9.00	1	10.69	---	X	---	---	---	---	---	---
2	Máquina de mangos de machetes	MAQ	4.09	3.51	14.35	---	---	14.35	1	14.35	---	X	---	---	---	---	---	---
3	Mesa 1	MAT	2.00	0.72	1.44	---	1	1.44	1	2.44	---	---	---	---	---	---	---	---
4	Mesa 2	MAT	2.95	0.94	2.77	---	3.41	2.77	1	6.19	---	---	---	---	---	---	---	---
5	Maquina trituradora	MAQ	1.30	1.00	1.30	---	0.30	1.30	1	1.60	X	---	---	---	---	---	---	---
6	Recolector de maquina trituradora	MAT	0.60	0.60	0.36	---	---	0.36	1	0.36	---	---	---	---	---	---	---	---
7	Cajón de mangos de limas	MAT	0.94	0.94	0.88	---	---	0.88	2	1.77	---	---	---	---	---	---	---	---
8	Bote de basura	MAT	1.20	0.51	0.61	---	---	0.61	1	0.61	---	---	---	---	---	---	---	---
9	Producto terminado	MAT	1.60	1.60	2.56	---	0.43	2.56	1	2.99	---	---	---	---	---	---	---	---
12	Refrigeración de máquinas	MAQ	1.56	0.86	1.34	---	---	1.34	1	1.34	---	---	---	---	---	---	---	---
16	Bolsa de alimentación para maquinaria	MAT	1.17	0.85	0.99	---	---	0.99	1	0.99	---	---	---	---	---	---	---	---

Comentarios: El espacio de altura requerido no está incluido				
	Área utilizada (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT + \sum OI)$	**43.33**	**Acciones de mejora**	
	Área total útil (m²): $(\sum MAQ + \sum MAT)$	**43.33**	a)	Colocar delimitación de máquinas y equipos.
	Área total no útil (m²): $(\sum OI)$	**0**	b)	Retirar equipos no útiles dentro del área.
	Área disponible (m²): (Área total – área utilizada)	**55.57**	c)	Colocar estante para acomodar las referencias de cajas.