



DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

OPCIÓN I.- TESIS

TRABAJO PROFESIONAL

**“MEJORA DE LOS INDICADORES QUE AFECTAN LA
PRODUCTIVIDAD EN UNA EMPRESA DEL CENTRO DEL ESTADO
DE VERACRUZ, MEDIANTE LAS FASES DMAIC”**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

PRESENTA:

Ing. Martín Flores Zuñiga

DIRECTOR DE TESIS:

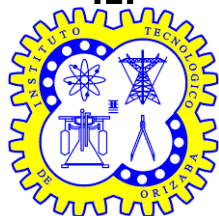
Dr. Fernando Ortiz Flores

CODIRECTOR DE TESIS:

Dr. Oscar Báez Senties

ORIZABA, VERACRUZ, MÉXICO

FEBRERO 2025





Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Orizaba, Veracruz, **05/febrero/2025**
Dependencia: **División de Estudios de
Posgrado e Investigación**
Asunto: **Autorización de Impresión**
OPCION: I

C. FLORES ZUÑIGA MARTÍN
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:

**"MEJORA DE INDICADORES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD EN UNA EMPRESA DEL CENTRO DEL
ESTADO DE VERACRUZ, MEDIANTE LAS FASES DMAIC"**

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

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®


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

OLE/jarh 



OG-13-F06



2025
Año de
**La Mujer
Indígena**

Av. Oriente 9 #852 Colonia Emiliano Zapata, C.P. 94320
Orizaba, Veracruz. Tel. 01 (272) 1105360
e-mail: info@orizaba.tecnm.mx www.orizaba.tecnm.mx





Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Orizaba Veracruz, 16/enero/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.:

FLORES ZUÑIGA MARTÍN

La cual lleva el título de:

MEJORA DE INDICADORES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD EN UNA EMPRESA DEL CENTRO
DEL ESTADO DE VERACRUZ, MEDIANTE LAS FASES DMAIC

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

SECRETARIO: DR. OSCAR BAEZ SENTIES

VOCAL: MMA JORGE LUIS HERNANDEZ MORTERA

VOCAL SUP.: DRA. MA. ELOISA GURRUCHAGA RODRÍGUEZ

FIRMA
FIRMA
FIRMA
FIRMA

TA-09-F18



Agradecimientos

A mis padres, quienes, con su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante me han dado las fuerzas para llegar hasta aquí. Gracias por enseñarme los valores más importantes de la vida y por ser el motor que impulsa mis sueños. Sin su guía, este logro no hubiera sido posible. Esta tesis es tan suya como mía.

A mi novia, por ser mi compañera incansable, por tu paciencia, comprensión y amor en cada paso de este camino. Gracias por tu apoyo, por tu fe en mí y por motivarme a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. Esta tesis también es un reflejo de tu amor y dedicación.

A mis profesores, quienes con su sabiduría, orientación y compromiso me han guiado en cada etapa de este proceso académico. Gracias por inspirarme a cuestionar, investigar y crecer tanto en lo personal como en lo profesional. Su dedicación y pasión por la enseñanza han sido fundamentales en mi formación.

A mis amigos, por estar a mi lado durante todo este recorrido. Gracias por su apoyo, por escucharme cuando más lo necesitaba y por brindarme su compañía en los momentos de alegría y de estrés. Este logro también es de ustedes, ya que siempre me han impulsado a seguir adelante.

Resumen

La globalización, la evolución de las tecnologías y las demandas cambiantes del mercado exigen que las organizaciones, no sólo mantengan altos niveles de productividad, sino que también sean capaces de adaptarse rápidamente a nuevas condiciones. Por lo tanto, este proyecto de investigación se enfoca en uno de los principales retos del sector manufacturero actual: mejorar los indicadores que afectan la productividad.

La empresa objeto de estudio, dedicada a la fabricación de tijeras de corte, y que se encuentra ubicada en el centro del estado de Veracruz, presenta la necesidad de mejorar la productividad en su línea de producción prioritaria. Para ello, se enfocó en mejorar los indicadores que afectan a ésta. En este contexto, la empresa decidió realizar este proyecto de investigación, cuyo objetivo general fue mejorar los indicadores que afectan la productividad en una línea de producción, mediante la aplicación de las fases DMAIC y *lean manufacturing*.

Para llevar a cabo este proyecto, se emplearon diversas herramientas de ingeniería industrial y *lean manufacturing*, como el diagrama SIPOC, el diagrama de Ishikawa, la lluvia de ideas, el método por puntos, el diagrama relacional y el mapeo de la cadena de valor (*Value Stream Mapping*), utilizadas de forma individual para identificar el estado actual de la empresa y las causas raíz de los problemas. Además, se implementaron las 5S, trabajo estandarizado y *SMED* para mejorar los indicadores que afectan la productividad de la línea. Las 5S y el trabajo estandarizado se aplicaron para mejorar el indicador “*desperdicio de material*”, mientras que *SMED* se empleó para mejorar los indicadores “*tiempo de preparación de máquinas Off-line*” y “*tiempo de preparación de máquinas Crush & Broach*”.

Como resultado de la aplicación de las 5S y el establecimiento del trabajo estandarizado en la línea de producción, se logró una reducción del 52.94% en el “*desperdicio de material*”, pasando de 476 forjas a 224 forjas al mes (una disminución de 252 forjas). Por otro lado, la aplicación de *SMED* permitió una reducción del 40.90% en el “*tiempo de preparación de*

máquinas Off-line", pasando de 27.78 horas a 16.41 horas al mes (una disminución de 11.63 horas). Asimismo, se consiguió una reducción del 34.62% en el "*tiempo de preparación de máquinas Crush & Broach*", pasando de 20.52 horas a 13.42 horas al mes (una disminución de 7.10 horas).

El desarrollo del presente proyecto permitió identificar las actividades clave para el control y seguimiento de los resultados, además de centrarse en las causas principales que tuvieron mayor impacto en los tres indicadores. Asimismo, se proporcionaron soluciones prácticas a problemas comunes en el sector manufacturero, demostrando la efectividad de las fases DMAIC en conjunto la implementación de *lean manufacturing* en el contexto de una organización real.

Abstract

Globalization, the evolution of technologies, and changing market demands require organizations not only to maintain high levels of productivity, but also to be able to adapt quickly to new conditions. Therefore, this research project focuses on one of the main challenges of the current manufacturing sector: improving the indicators that affect productivity.

The company under study, dedicated to the manufacture of cutting scissors, and located in the center of the state of Veracruz, has the need to improve productivity in its priority production line. To this end, it focused on improving the indicators that affect it. In this context, the company decided to carry out this research project, whose general objective is to improve the indicators that affect productivity in a production line, through the application of the DMAIC phases and lean manufacturing.

To carry out this project, various industrial engineering and lean manufacturing tools were used, such as the SIPOC diagram, the Ishikawa diagram, brainstorming, the dot method, the relationship diagram, and value stream mapping, used individually to identify the current state of the company and the root causes of the problems. In addition, the 5S, standardized work, and SMED were implemented to improve the indicators that affect the productivity of the line. The 5S and standardized work were applied to improve the "material waste" indicator, while SMED was used to improve the "Off-line machine setup time" and "Crush & Broach machine setup time" indicators.

As a result of the implementation of 5S and the establishment of standardized work in the production line, a 52.94% reduction in "material waste" was achieved, going from 476 forgings to 224 forgings per month. On the other hand, the application of SMED allowed a 40.90% reduction in "Off-line machine setup time", going from 27.78 hours to 16.41 hours per month. Likewise, a 34.62% reduction in "Crush & Broach machine setup time" was achieved, going from 20.52 hours to 13.42 hours per month.

The development of this project allowed the identification of key activities for the control and monitoring of the results, in addition to focusing on the main causes that had the greatest impact on the three indicators. Likewise, practical solutions were provided to common problems in the manufacturing sector, demonstrating the effectiveness of the DMAIC phases in conjunction with the implementation of lean manufacturing in the context of a real organization.

Contenido

Agradecimientos	I
Resumen	II
Abstract	IV
Contenido	VI
Índice de figuras	XIII
Índice de tablas	XV
Introducción	1
Planteamiento del problema.....	2
Hipótesis	3
Contenido del proyecto	4
Capítulo 1 Antecedentes.....	5
1.1 Estado del campo	5
1.1.1 Sectores de la producción	5
1.1.2 Sector primario	5
1.1.3 Sector secundario.....	6
1.1.4 Sector terciario.....	6
1.1.5 Industria metalmecánica	6
1.1.6 Herramientas manuales.....	7
1.1.7 Revisión de tesis referentes al aumento de la productividad, a través de la mejora de indicadores, en el área de producción	7
1.1.8 Revisión de artículos referentes al aumento de la productividad, a través de la mejora de indicadores, en el área de producción.....	11
1.2 Generalidades de la empresa en estudio	17
1.2.1 Antecedentes de la empresa	17
1.2.2 Ubicación.....	18
1.2.3 Misión.....	19
1.2.4 Visión	19
1.2.5 Valores.....	20
1.2.6 Organigrama	20

1.2.7 Distribución de planta.....	22
1.2.8 Política de calidad, seguridad, salud, medio ambiente y biodiversidad	24
1.2.9 Línea de producción 2.....	25
1.2.9.1 Materia prima	25
1.2.9.2 Prensado	26
1.2.9.3 <i>Off-line</i>	26
1.2.9.4 <i>Crush & Broach</i>	27
1.2.9.5 Tratamiento térmico	27
1.2.9.6 Flat grind	27
1.2.9.7 Pulido	28
1.2.9.8 Láser <i>print</i>	28
1.2.9.9 Colocación de pines.....	28
1.2.9.10 Ensamble	29
1.2.9.11 Instalación de seguro	29
1.2.9.12 Instalación de <i>grip</i>	29
1.2.9.13 Empaque.....	30
1.3 Objetivos	30
1.3.1 Objetivo general	30
1.3.2 Objetivos específicos	31
1.4 Justificación	31
1.5 Conclusión	32
Capítulo 2 Marco teórico	33
2.1 Herramientas de diagnóstico y análisis del proceso	33
2.1.1 Diagrama SIPOC	33
2.1.1.1 Ventajas del diagrama SIPOC	34
2.1.1.2 Pasos para realizar un diagrama SIPOC	34
2.1.2 Diagrama de Ishikawa	35
2.1.2.1 Factores 6 M' s	36
2.1.2.2 Usos fundamentales del diagrama de Ishikawa	36
2.1.2.3 Pasos para realizar un diagrama de Ishikawa	37
2.1.3 <i>Value Stream Mapping (VSM)</i>	37
2.1.3.1 Indicadores importantes de un <i>VSM</i>	38
2.1.3.2 Simbología de un <i>VSM</i>	38
2.1.3.3 Pasos para realizar un <i>VSM</i> de estado presente	40

2.1.3.4 VSM de la situación actual.....	40
2.2 Lluvia de ideas	42
2.2.1 Reglas de la lluvia de ideas.....	42
2.2.2 Pasos para realizar una lluvia de ideas	43
2.3 Entrevista	44
2.3.1 Tipos de entrevista.....	44
2.3.2 Fases de la entrevista	45
2.3.3 Ventajas de la entrevista	46
2.4 Método por puntos	46
2.4.1 Pasos para la aplicación del método por puntos.....	47
2.4.2 Ventajas del método por puntos.....	48
2.5 Trabajo estandarizado	49
2.5.1 Metodología.....	49
2.5.2 Elementos del trabajo estandarizado	50
2.5.3 Beneficios del trabajo estandarizado.....	50
2.6 Las 5S.....	51
2.6.1 Significado de las 5S	52
2.6.2 <i>Seiri</i> (clasificar)	52
2.6.3 <i>Seiton</i> (orden)	53
2.6.4 <i>Seiso</i> (limpieza)	53
2.6.5 <i>Seiketsu</i> (estandarizar)	53
2.6.6 <i>Shitsuke</i> (disciplina).....	54
2.6.7 Objetivos de las 5S	54
2.6.8 Beneficios de las 5S.....	55
2.7 <i>SMED</i>	55
2.7.1 Objetivos de <i>SMED</i>	56
2.7.2 Fases de <i>SMED</i>	56
2.7.3 Beneficios de <i>SMED</i>	57
2.7.4 Herramientas y técnicas utilizadas en <i>SMED</i>	58
2.7.5 Limitaciones y desafíos del <i>SMED</i>	58
2.8 Conclusión	59
Capítulo 3 Implementación de mejoras.....	60
3.1 Metodología	60
3.2 Definir línea de producción.....	60
3.2.1 Realizar recorridos por el área de producción de la empresa	61
3.2.2 Realizar entrevista a supervisores	61
3.2.3 Realizar entrevista a personal operativo	62
3.2.4 Definir línea de producción para el desarrollo del proyecto	65
3.2.4.1 Definir factores con la aplicación de una lluvia de ideas.....	65

3.2.4.2 Definir línea de producción con la aplicación del método por puntos	65
3.2.5 Distribución de la línea de producción LP 2	69
3.2.6 Diagrama SIPOC de la línea de producción LP 2	72
3.2.6.1 Identificar categorías de proveedores (S)	72
3.2.6.2 Definir las entradas del proceso (I).....	73
3.2.6.3 Graficar el proceso en un diagrama de flujo (P)	73
3.2.6.4 Definir salidas del proceso (O).....	75
3.2.6.5 Identificar a los clientes (C).....	75
3.2.6.6 Construir diagrama SIPOC	75
3.3 Medir indicadores a evaluar	76
3.3.1 Identificar indicadores que afectan a la productividad.....	77
3.3.2 Describir indicadores que afectan a la productividad.....	77
3.3.3 Medir tiempo de preparación de máquinas <i>Off-line</i>	78
3.3.3.1 Medición de tiempos preliminares.....	78
3.3.3.2 Cálculo de número de ciclos óptimos	79
3.3.3.3 Medición de tiempos de ciclos faltantes	81
3.3.4 Medir tiempo de preparación de máquinas <i>Crush & Broach</i>	81
3.3.4.1 Medición de tiempos preliminares.....	82
3.3.4.2 Cálculo de número de ciclos óptimos	82
3.3.4.3 Medición de tiempos de ciclos faltantes	84
3.3.5 Medir desperdicio de material	85
3.3.5.1 Medición preliminar de desperdicio de material	85
3.3.5.2 Cálculo del tamaño de muestra óptimo.....	86
3.3.5.3 Registro de observaciones faltantes.....	87
3.4 Analizar causas raíz de los problemas.....	87
3.4.1 Identificar causas que repercuten en los indicadores que afectan la productividad.....	88
3.4.1.1 Diagrama de Ishikawa para tiempo de preparación de máquinas <i>Off-line</i>	88
3.4.1.2 Diagrama de Ishikawa para tiempo de preparación de máquinas <i>Crush & Broach</i>	90
3.4.1.4 Diagrama de Ishikawa para desperdicio de material	91
3.4.2 Definir causas principales y secundarias que afectan en los indicadores.....	93
3.4.3 Realizar mapa, de la situación actual, de la cadena de flujo de valor (VSM) de la línea LP2.....	95
3.4.3.1 Crear un grupo de trabajo para elaborar un VSM.....	95
3.4.3.2 Realizar platicas y reuniones con el grupo de trabajo.....	96
3.4.3.3 Seleccionar el producto objetivo	96

3.4.3.3.1 Definir factores con la aplicación de una lluvia de ideas	97
3.4.3.3.2 Definir producto objetivo con la aplicación del método por puntos.....	97
3.4.3.4 Determinar procesos a mapear en el VSM de la situación actual	100
3.4.3.5 Seleccionar y calcular indicadores para el VSM del estado actual.....	100
3.4.3.6 Elaborar mapa de la situación actual del producto objetivo	103
3.4.3.7 Analizar VSM de la situación actual del producto objetivo	108
3.5 Mejorar indicadores	110
3.5.1 Determinar técnicas de <i>lean manufacturing</i> para mejorar los indicadores.....	110
3.5.2 Definir orden de implementación de técnicas seleccionadas	114
3.5.3 Establecer trabajo estandarizado en la línea LP 2	114
3.5.3.1 Identificar procesos y el propósito del trabajo estandarizado	115
3.5.3.2 Desglosar los procesos en pasos secuenciales	115
3.5.3.3 Definir actividades para obtener los tiempos de ciclo de cada proceso	116
3.5.3.3.1 Medición de tiempos de ciclo preliminares.....	119
3.5.3.3.2 Cálculo de número de ciclos óptimos.....	119
3.5.3.3.3 Medición de tiempos de ciclos faltantes.....	120
3.5.3.4 Determinar tiempos de ciclo de los procesos de la línea de producción LP 2	120
3.5.3.5 Identificar herramientas y equipo de protección personal (EPP)	121
3.5.3.6 Identificar elementos visuales para las hojas de trabajo estandarizado.....	122
3.5.3.7 Definir hojas de trabajo estandarizado.....	124
3.5.3.8 Validar las hojas de trabajo estandarizado con el equipo de trabajo	124
3.5.3.9 Implementar las hojas de trabajo estandarizado en los procesos	124
3.5.4 Aplicar las 5S en la línea de producción LP 2	126
3.5.4.1 Realizar diagnóstico determinar situación inicial	127
3.5.4.2 Impartir capacitación al personal operativo.....	129
3.5.4.3 Aplicar <i>Seiri</i> (Clasificar)	130
3.5.4.4 Aplicar <i>Seiton</i> (Ordenar)	132
3.5.4.5 Aplicar <i>Seiso</i> (Limpiar)	134
3.5.4.6 Aplicar <i>Seiketsu</i> (Estandarizar)	136
3.5.4.7 Aplicar <i>Shitsuke</i> (Disciplina).....	138
3.5.5 Aplicar <i>SMED</i> para reducir los tiempos de preparación de máquinas <i>Off-line</i>	140
3.5.5.1 Fase preliminar: identificar actividades internas y externas	141
3.5.5.1.1 Realizar listado de actividades de preparación.....	141

3.5.5.1.2 Realizar diagrama de flujo de trabajo del proceso de preparación	142
3.5.5.1.3 Medir el tiempo del proceso de preparación actual	143
3.5.5.1.4 Identificar actividades internas y externas del proceso de preparación	143
3.5.5.1.5 Analizar porcentajes de contribución de las actividades de preparación	145
3.5.5.2 Fase 1: separar actividades internas y externas	146
3.5.5.2.1 Separar las actividades de preparación como internas o externas	146
3.5.5.2.2 Realizar lista de verificación para control de operaciones internas y externas	147
3.5.5.2.3 Realizar lista de verificación para equipo de protección personal, herramientas y equipo utilizado	148
3.5.5.3 Fase 2: convertir actividades internas en externas	150
3.5.5.4 Fase 3: mejorar actividades de preparación	152
3.5.5.4.1 Analizar y mejorar actividades internas	152
3.5.5.4.2 Analizar y mejorar actividades externas	153
3.5.5.4.3 Capacitar al personal operativo con el nuevo proceso de preparación de máquinas <i>Off-line</i>	154
3.5.6 Aplicar <i>SMED</i> para reducir los tiempos de preparación de máquinas <i>Crush & Broach</i>	157
3.5.6.1 Fase preliminar: identificar actividades internas y externas	158
3.5.6.1.1 Realizar listado de actividades de preparación	158
3.5.6.1.2 Realizar diagrama de flujo de trabajo del proceso de preparación	159
3.5.6.1.3 Medir el tiempo del proceso de preparación actual	160
3.5.6.1.4 Identificar actividades internas y externas del proceso de preparación	160
3.5.6.1.5 Analizar porcentajes de contribución de las actividades de preparación	161
3.5.6.2 Fase 1: separar actividades internas y externas	162
3.5.6.2.1 Separar las actividades de preparación como internas o externas	162
3.5.6.2.2 Realizar lista de verificación para control de operaciones internas y externas	163
3.5.6.2.3 Realizar lista de verificación para equipo de protección personal, herramientas y equipo utilizado	165
3.5.6.3 Fase 2: convertir actividades internas en externas	166
3.5.6.4 Fase 3: mejorar actividades de preparación	168
3.5.6.4.1 Analizar y mejorar actividades internas	168
3.5.6.4.2 Analizar y mejorar actividades externas	169
3.5.6.4.3 Capacitar al personal operativo con el nuevo proceso de preparación de máquinas <i>Crush & Broach</i>	169

3.6 Medir indicadores después de la mejora	172
3.6.1 Medir tiempo de preparación de máquinas <i>Off-line</i> después de la mejora.....	173
3.6.2 Medir tiempo de preparación de máquinas <i>Crush & Broach</i> después de la mejora.....	174
3.6.3 Medir desperdicio de material después de la mejora	175
3.7 Validar estadísticamente las mejoras	176
3.7.1 Validar estadísticamente la mejora del tiempo de preparación de máquinas <i>Off-line</i> posterior a la aplicación de <i>SMED</i>	176
3.7.2 Validar estadísticamente la mejora del tiempo de preparación de máquinas <i>Crush & Broach</i> posterior a la aplicación de <i>SMED</i>	183
3.7.3 Validar estadísticamente la reducción de desperdicio de material posterior a la aplicación de trabajo estandarizado y las 5S.....	189
3.8 Controlar los resultados obtenidos	194
3.8.1 Controlar los resultados obtenidos después de la aplicación de las 5S	195
3.8.2 Controlar los resultados obtenidos después de la aplicación del trabajo estandarizado	196
3.8.3 Controlar los resultados después de la aplicación de <i>SMED</i>	197
3.9 Conclusión	198
Capítulo 4 Resultados.....	199
4.1 Discusión.....	199
4.2 Productos académicos	200
Conclusiones y recomendaciones	202
Conclusiones	202
Recomendaciones.....	203
Fuentes de información	205

Índice de figuras

Figura 1.1 Macro localización de la empresa en estudio (Fuente: Google, 2024).	18
Figura 1.3 Distribución de planta (Fuente: elaboración propia).....	23
Figura 1.4 Diagrama de flujo de proceso de la tijera con mayor volumen de producción (Fuente: elaboración propia).....	25
Figura 2.1 Simbología VSM (Fuente: modificado de Madariaga, 2013).....	39
Figura 2.2 Fases de la entrevista (Fuente: modificado de Díaz et al. 2013).....	45
Figura 3.1 Factores para evaluación la evaluación de las líneas de producción (Fuente: elaboración propia).	66
Figura 3.2 Ubicación de la línea LP 2 (Fuente: elaboración propia).....	70
Figura 3.3 Distribución de la línea LP 2 (Fuente: elaboración propia).	71
Figura 3.4 Diagrama de flujo del proceso de la línea LP 2 (Fuente: elaboración propia).....	74
Figura 3.5 Diagrama SIPOC línea de producción LP 2 (Fuente: elaboración propia).....	76
Figura 3.6 Evidencia de desperdicio de material (Fuente: elaboración propia).	85
Figura 3.7 Diagrama de Ishikawa para el indicador "tiempo de preparación de máquinas Off-line" (Fuente: elaboración propia).	89
Figura 3.8 Diagrama de Ishikawa para el indicador "tiempo de preparación de máquinas Crush & Broach" (Fuente: elaboración propia).	90
Figura 3.9 Diagrama de Ishikawa para el indicador "Desperdicio de material" (Fuente: elaboración propia).	92
Figura 3.10 Diagrama relacional causas-raíz indicadores (Fuente: elaboración propia).	93
Figura 3.11 Factores lluvia de ideas (Fuente: elaboración propia).	97
Figura 3.12 Procesos tijera XYZ (Fuente: elaboración propia).	101
Figura 3.13 Paso 1 de la elaboración del VSM del estado actual (Fuente: elaboración propia).	104
Figura 3.14 Paso 2 de la elaboración del VSM del estado actual (Fuente: elaboración propia).	104
Figura 3.15 Paso 3 de la elaboración del VSM del estado actual (Fuente: elaboración propia).	105
Figura 3.16 Paso 4 de la elaboración del VSM del estado actual (Fuente: elaboración propia).	105
Figura 3.17 Paso 5 y 6 de la elaboración del VSM del estado actual (Fuente: elaboración propia).	106

Figura 3.18 Paso 7 y 8 de la elaboración del VSM del estado actual (Fuente: elaboración propia).	107
Figura 3.19 VSM estado actual parte 1 (Fuente: elaboración propia).....	107
Figura 3.20 VSM estado actual parte 2 (Fuente: elaboración propia).....	108
Figura 3.21 Diagrama de Pareto técnicas de mejora (Fuente: elaboración propia).....	113
Figura 3.22 Procesos que conforman la línea de producción LP 2 (Fuente: elaboración propia)...	116
Figura 3.23 Elementos gráficos (Fuente: elaboración propia).	123
Figura 3.24 Fotos del proceso Flat Grind (Fuente: la empresa en estudio).....	123
Figura 3.25 Hoja de trabajo estandarizado para el proceso de Flat Grind (Fuente: elaboración propia).	125
Figura 3.26 Hojas de trabajo estandarizado en la línea LP 2 (Fuente: elaboración propia).	126
Figura 3.27 Ejemplo de la situación en los procesos antes de las 5S (Fuente: elaboración propia).	129
Figura 3.28 Capacitación 5S (Fuente: elaboración propia).....	129
Figura 3.29 Aplicación de Seiri (Fuente: elaboración propia).	130
Figura 3.30 Antes y después de la aplicación de Seiri (Fuente: elaboración propia).....	131
Figura 3.31 Orden de elementos de acuerdo a frecuencia de uso (Fuente: elaboración propia).	132
Figura 3.32 Antes y después de la aplicación de Seiton (Fuente: elaboración propia).	133
Figura 3.33 Actividades de limpieza y antes y después de la aplicación de Seiso (Fuente: elaboración propia).	135
Figura 3.34 Fases para la implementación de SMED (Fuente: elaboración propia).	140
Figura 3.35 Región de rechazo para H_0 (Fuente: Universidad Autónoma de Madrid, sin fecha)..	180
Figura 3.36 Comparación del tiempo de preparación antes y después de la mejora Off-line por turno (Fuente: elaboración propia).	182
Figura 3.37 Comparación del tiempo de preparación antes y después de la mejora Off-line por mes (Fuente: elaboración propia).	182
Figura 3.38 Región de rechazo para H_0 (Fuente: Universidad Autónoma de Madrid, sin fecha)..	186
Figura 3.39 Comparación por turno Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).....	188
Figura 3.40 Comparación por mes Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).....	188
Figura 3.41 Región de rechazo (Fuente: Universidad Autónoma de Madrid, sin fecha).	192
Figura 3.42 Comparación de desperdicio de material antes y después de la mejora (Fuente: elaboración propia).....	194

Índice de tablas

Tabla 3.1 Áreas de oportunidad de cada línea (Fuente: elaboración propia).	61
Tabla 3.2 Áreas de oportunidad en los procesos de “prensado” a “flat grind” (Fuente: elaboración propia).	63
Tabla 3.3 Áreas de oportunidad en los procesos de “pulido” a “empaquetado” (Fuente: elaboración propia).	64
Tabla 3.4 Descripción de factores (Fuente: elaboración propia).	67
Tabla 3.5 Puntajes de factores (Fuente: elaboración propia).	67
Tabla 3.6 Escala de vocales (Fuente: elaboración propia).	68
Tabla 3.7 Método por puntos para la selección del área piloto (Fuente: elaboración propia).	68
Tabla 3.8 Actividades de preparación Off-line (Fuente: elaboración propia).	79
Tabla 3.9 Tiempos preliminares máquinas Off-line (Fuente: elaboración propia).	80
Tabla 3.10 Cálculos para ciclos óptimos de máquina Off-line (Fuente: elaboración propia).	81
Tabla 3.11 Actividades de preparación Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).	82
Tabla 3.12 Tiempos preliminares máquinas Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).	83
Tabla 3.13 Cálculos para ciclos óptimos de máquina Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).	84
Tabla 3.14 Desperdicio de material antes de la mejora (Fuente: elaboración propia).	86
Tabla 3.15 Cálculos para tamaño de muestra óptimo (Fuente: elaboración propia).	87
Tabla 3.16 Causas que afectan indicadores (Fuente: elaboración propia).	94
Tabla 3.17 Factores prioritarios de producto objetivo (Fuente: elaboración propia).	98
Tabla 3.18 Puntaje para factores (Fuente: elaboración propia).	99
Tabla 3.19 Escala para evaluación (Fuente: elaboración propia).	99
Tabla 3.20 Método por puntos producto objetivo (Fuente: elaboración propia).	99
Tabla 3.21 Indicadores VSM (Fuente: elaboración propia).	103
Tabla 3.22 Técnicas de mejora para dar solución a las causas principales (Fuente: elaboración propia).	111
Tabla 3.23 Técnicas de mejora para dar solución a las causas secundarias (Fuente: elaboración propia).	112
Tabla 3.24 Importancia de técnicas de mejora (Fuente: elaboración propia).	113
Tabla 3.25 Datos para diagrama de Pareto (Fuente: elaboración propia).	113
Tabla 3.26 Pasos Bevel and Shapen (Fuente: elaboración propia).	117

Tabla 3.27 Pasos Clip Machine (Fuente: elaboración propia).	117
Tabla 3.28 Pasos CNC (Fuente: elaboración propia).	118
Tabla 3.29 Pasos Crush and Broach (Fuente: elaboración propia).	118
Tabla 3.30 Tiempos del proceso de prensado (Fuente: elaboración propia).	119
Tabla 3.31 Tiempos de ciclo de los procesos de la línea de producción LP 2 (Fuente: elaboración propia).	121
Tabla 3.32 Herramientas y EPP Off line #1 y Crush Grind (Fuente: elaboración propia).	122
Tabla 3.33 Herramientas y EPP Off line #3 y Crush and Broach (Fuente: elaboración propia).	122
Tabla 3.34 Resultado diagnóstico inicial (Fuente: elaboración propia).	128
Tabla 3.35 Formato para Seiri (Fuente: elaboración propia).	131
Tabla 3.36 Actividades realizadas Seiri-clasificar (Fuente: elaboración propia).	132
Tabla 3.37 Formato para Seiton (Fuente: elaboración propia).	133
Tabla 3.38 Actividades realizadas Seiton-ordenar (Fuente: elaboración propia).	134
Tabla 3.39 Formato para Seiso (Fuente: elaboración propia)	135
Tabla 3.40 Actividades realizadas Seiso-limpiar (Fuente: elaboración propia).	136
Tabla 3.41 Formato autoevaluación 5S (Fuente: elaboración propia).	137
Tabla 3.42 Recomendaciones al personal operativo (Fuente: elaboración propia).	138
Tabla 3.43 Formato auditoría 5S (Fuente: elaboración propia).	139
Tabla 3.44 Lista de actividades de preparación de Off-line (Fuente: elaboración propia).	141
Tabla 3.45 Diagrama de flujo de trabajo Off-line (Fuente: elaboración propia).	142
Tabla 3.46 Identificación de actividades internas y externas Off-line (Fuente: elaboración propia).	144
Tabla 3.47 Análisis de porcentajes de contribución Off-line (Fuente: elaboración propia).	145
Tabla 3.48 Separación de actividades en internas y externas Off-line (Fuente: elaboración propia).	147
Tabla 3.49 Lista de verificación de actividades de preparación de Off-line (Fuente: elaboración propia).	148
Tabla 3.50 Lista de verificación EPP, herramientas y equipo utilizado Off-line (Fuente: elaboración propia.)	149
Tabla 3.51 Conversión de actividades internas en externas Off-line (Fuente: elaboración propia).	150
Tabla 3.52 Clasificación actualizada de las actividades internas y externas Off-line (Fuente: elaboración propia).	151
Tabla 3.53 Propuesta de mejora de actividades internas Off-line (Fuente: elaboración propia).	153
Tabla 3.54 Propuesta de mejora de actividades externas Off-line (Fuente: elaboración propia). ...	154

Tabla 3.55 Diagrama proceso nuevo Off-line (Fuente: elaboración propia).....	155
Tabla 3.56 Lista final de verificación de actividades Off-line (Fuente: elaboración propia).....	156
Tabla 3.57 Lista final de verificación para EPP, herramientas y equipo utilizado Off-line (Fuente: elaboración propia).....	157
Tabla 3.58 Listado de actividades de preparación Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).	158
Tabla 3.59 Diagrama de flujo de trabajo Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).	159
Tabla 3.60 Actividades internas y externas Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).	161
Tabla 3.61Análisis de porcentajes de contribución Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).	162
Tabla 3.62 Separación de actividades internas y externas Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).	163
Tabla 3.63 Lista de verificación de actividades Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).....	164
Tabla 3.64 Lista de verificación de EPP, herramientas y equipo utilizado Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).....	165
Tabla 3.65 Conversión de actividades internas en externas Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).	166
Tabla 3.66 Clasificación actualizada actividades internas y externas Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).....	167
Tabla 3.67 Propuesta de mejora de actividades internas Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).	168
Tabla 3.68 Propuesta de mejora para actividades externas Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).	169
Tabla 3.69 Diagrama proceso nuevo Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).	170
Tabla 3.70 Lista final de verificación de actividades Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).	171
Tabla 3.71 Lista final de verificación de EPP, herramientas y equipo utilizado (Fuente: elaboración propia).	172
Tabla 3.72 Tiempo actividades internas Off-line (Fuente: elaboración propia).....	173
Tabla 3.73 Tiempo actividades externas Off-line (Fuente: elaboración propia).....	174
Tabla 3.74 Tiempo actividades externas Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).....	174
Tabla 3.75 Tiempo actividades internas Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).	175
Tabla 3.76 Desperdicio de material después de la mejora (Fuente: elaboración propia).	176
Tabla 3.77 Tiempos de preparación de máquinas Off-line proceso actual y nuevo (Fuente: elaboración propia).	177

Tabla 3.78 Fragmento tabla t de student (Fuente: Universidad Autónoma de Madrid, sin fecha)..	180
Tabla 3.79 Tabla resumen mejora del tiempo de preparación Off-line (Fuente: elaboración propia).	
.....	181
Tabla 3.80 Tiempos de preparación de máquinas Crush & Broach actual y nuevo (Fuente: elaboración propia).	
.....	183
Tabla 3.81 Fragmento tabla t de student (Fuente: Universidad Autónoma de Madrid, sin fecha)..	186
Tabla 3.82 Tabla resumen de mejora del tiempo de preparación Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).	
.....	188
Tabla 3.83 Desperdicio promedio por día (Fuente: elaboración propia).....	189
Tabla 3.84 Fragmento tabla t de student (Fuente: Universidad Autónoma de Madrid, sin fecha)..	192
Tabla 3.85 Tabla resumen mejora desperdicio de material (Fuente: elaboración propia).	194
Tabla 3.86 Formato auditoría de las 5S (Fuente: elaboración propia).	195
Tabla 3.87 Check list para hojas de trabajo estandarizado (Fuente: elaboración propia).	196
Tabla 3.88 Verificación de actividades de preparación Off-line (Fuente: elaboración propia).	197
Tabla 3.89 Verificación de actividades de preparación Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).	
.....	198

Introducción

Las empresas manufactureras enfrentan desafíos continuos para optimizar sus procesos de producción, especialmente en lo que respecta a la reducción de los tiempos de preparación de máquinas y la disminución del desperdicio de material. Estos dos indicadores son clave para mejorar la eficiencia operativa y aumentar la productividad, los tiempos grandes de preparación no solo provocan inactividad en los equipos, sino que también generan retrasos en la producción y elevan los costos. Por otro lado, el desperdicio de material no solo representa una pérdida económica directa, sino que también refleja un uso ineficiente de los recursos disponibles, lo que afecta la rentabilidad y la sostenibilidad de la empresa.

Por esta razón, las empresas manufactureras buscan de manera constante soluciones innovadoras que les permitan mejorar estos indicadores y, de esta forma, mantener su competitividad y alcanzar elevados estándares de calidad y rentabilidad en sus operaciones. Mejorar los tiempos de preparación y reducir el desperdicio de material no solo incrementa la eficiencia de la producción, sino que también permite a las empresas disminuir costos, aprovechar mejor los recursos disponibles y adaptarse con mayor agilidad a las demandas del mercado.

La implementación de metodologías como DMAIC y *lean manufacturing* se ha vuelto fundamental, ya que proporcionan un enfoque estructurado para identificar problemas, analizar sus causas raíz y aplicar soluciones efectivas. Estas herramientas permiten a las empresas abordar los desafíos de manera sistemática, asegurando que cada etapa del proceso sea evaluada y optimizada para maximizar la eficiencia. Además, fomentan una cultura de mejora continua que no solo resuelve los problemas actuales, sino que también impulsa la innovación constante y facilita la adaptación a los cambios del mercado, garantizando una mayor competitividad y sostenibilidad a largo plazo.

La mejora de los indicadores que afectan la productividad es una prioridad para la empresa en estudio, ya que estos factores influyen directamente en su eficiencia operativa,

rentabilidad y capacidad para satisfacer las demandas del mercado. Al mejorar estos indicadores, la empresa no solo podrá reducir costos y tiempos de inactividad, sino también mejorar la calidad de sus productos, incrementar su competitividad y aprovechar de manera más eficiente los recursos disponibles. Esto le permitirá mantenerse a la vanguardia en un entorno empresarial cada vez más dinámico y exigente.

Es importante señalar que la empresa en estudio enfrenta varios problemas, como desorden y falta de limpieza en las estaciones de trabajo, errores en la ejecución de procedimientos por parte del personal operativo, y deficiencias en la comunicación y coordinación entre los departamentos de producción, mantenimiento y almacén. Como resultado, se generan largos tiempos de preparación de máquinas y desperdicio de material, lo que provoca demoras en el cumplimiento de la demanda y gastos adicionales por chatarra y retrabajos. Ante esta situación, surgió la necesidad de desarrollar un proyecto que permita mejorar los indicadores clave de productividad, a través de la implementación de las fases DMAIC y *lean manufacturing*.

El objetivo principal de este proyecto es validar la hipótesis de que los indicadores que afectan la productividad de la línea de producción LP 2 mejoraran después de aplicar las fases DMAIC y *lean manufacturing*. Para ello, se implementó una metodología basada en las fases DMAIC, que permitió mejorar los indicadores que afectan la productividad de la línea: tiempo de preparación de máquinas *Off-line*, tiempo de preparación de máquinas *Crush & Broach*, desperdicio de material; a través de la aplicación de las 5S, trabajo estandarizado y *SMED*.

A lo largo del desarrollo de la metodología, se emplearon diversas técnicas y herramientas de ingeniería industrial que resultaron fundamentales para abordar la problemática dentro del contexto real de la organización.

Planteamiento del problema

La empresa objeto de estudio, ubicada en el centro del estado de Veracruz, se dedica a la fabricación de tijeras de corte para jardinería, poda y agricultura. Es reconocida como un

referente en el sector manufacturero, gracias a la calidad y durabilidad de sus productos. La fabricación de estas herramientas se realiza a través de procesos altamente especializados que demandan trabajadores con amplia capacitación y una gran capacidad de adaptación operativa.

El área de producción de la empresa está compuesta por cuatro líneas de producción: LP 1, LP 2, LP 3 y LP 4. Para comprender el funcionamiento de estas líneas y sus procesos, se realizaron recorridos y entrevistas con el gerente de planta y los supervisores de cada línea. Estas interacciones permitieron identificar el flujo completo del proceso de producción, desde la llegada de la materia prima hasta la transformación de ésta en tijeras de corte.

Actualmente, en la línea de producción LP 2 (línea prioritaria), la empresa enfrenta problemas de desorden y falta de limpieza en las estaciones de trabajo, así como errores en la ejecución de procedimientos por parte del personal operativo, además, presenta una comunicación por efectiva con los departamentos de mantenimiento y almacén. Como resultado, se generan tiempos grandes de preparación de máquinas y desperdicio de material, indicadores que impactan negativamente en la productividad de esta línea.

Las situaciones mencionadas previamente representan un área de oportunidad para el desarrollo de este proyecto, cuyo objetivo es mejorar los indicadores que afectan la productividad en la línea de producción, mediante la implementación de las fases DMAIC y *lean manufacturing*.

Hipótesis

Se espera que la metodología propuesta, tenga resultados positivos posterior a su aplicación, manteniendo el siguiente supuesto:

Los indicadores que afectan la productividad de la línea de producción LP 2 mejoraran después de aplicar las fases DMAIC y *lean manufacturing*.

Contenido del proyecto

El contenido del presente proyecto está dividido en los siguientes capítulos:

1. Capítulo uno. Describe información general de la empresa objeto de estudio, describiendo sus generalidades, elementos estratégicos, logística de producción y distribución de planta.
2. Capítulo dos. Describe de manera teórica las generalidades de las herramientas y técnicas de ingeniería industrial utilizadas para la elaboración del presente proyecto, esto servirá como referencia para conocer sus generalidades y metodología de aplicación de cada una de éstas.
3. Capítulo tres. Describe la aplicación de las técnicas y herramientas seleccionadas de acuerdo a la metodología utilizada, para el desarrollo del presente proyecto. Contemplando todo el proceso de aplicación, desde la determinación de las áreas de oportunidad hasta la obtención de resultados y la validación de los mismos.
4. Capítulo cuatro. Muestra los resultados obtenidos en el capítulo 3, además de los productos académicos generados durante el desarrollo del presente proyecto.
5. Conclusiones y recomendaciones. Muestran las conclusiones generales del presente proyecto, además de recomendaciones para la sostenibilidad de los resultados a lo largo del tiempo.
6. Fuentes de información. Mencionan todas las fuentes de información utilizadas durante el desarrollo del presente proyecto.

Capítulo 1

Antecedentes

En el presente capítulo se describirá el estado del campo, que constó de la revisión de artículos y tesis referentes a la mejora de indicadores que afectan la productividad en una línea de producción utilizando, las fases DMAIC y *lean manufacturing*. Asimismo, se describirán aspectos importantes de la empresa en estudio y de las líneas de producción, haciendo énfasis en la línea de producción LP 2, que es donde se desarrollará el presente proyecto.

1.1 Estado del campo

En esta sección se describen los distintos sectores de la producción: sector primario, sector secundario, sector terciario; la industria metalmecánica y el concepto de herramienta manual. Asimismo, se describen diferentes tesis y artículos ligados a la mejora de indicadores que afectan la productividad en el área de producción utilizando herramientas y técnicas de ingeniería industrial. De cada trabajo se mencionará la problemática planteada, la solución de la misma, la metodología utilizada, y las herramientas de ingeniería industrial aplicadas.

1.1.1 Sectores de la producción

De acuerdo a Pereira et al. (2011) existen tres sectores de la producción, el sector primario, el sector secundario y el sector terciario. A su vez estos tres sectores son los que definen la teoría de la economía, es decir, son las actividades cotidianas que generan un movimiento económico.

1.1.2 Sector primario

Según Cajal (2022), el sector primario se encuentra compuesto por las actividades primarias, que son todas aquellas en donde se hace el uso directo de recursos naturales. Usualmente el sector primario es el más importante para los países que se encuentran en desarrollo y no del mismo modo para países que han alcanzado un desarrollo importante infraestructuralmente.

De acuerdo con Pereira et al. (2011), el sector primario se encuentra compuesto por la agricultura, el sector pecuario y el minero, en donde se caracteriza la ejecución de actividades que utilizan los recursos naturales de manera directa, como la agricultura que se dedica generalmente a la producción de diversos cultivos o la minería que se dedica a la explotación de los recursos minerales.

1.1.3 Sector secundario

De acuerdo con Cajal (2022), el sector secundario se caracteriza por incluir a aquellas industrias que fabrican productos usables o aquellas que se encuentran involucradas en la construcción. El sector secundario usualmente usa lo generado del sector primario y lo transforma en algo que sea usable para otras empresas, para exportar o para venderlo.

Según Pereira et al. (2011), el sector secundario se basa en la producción de bienes, ya sean de origen vegetal, animal o mineral, los cuales son sometidos a procesos industriales y dan como resultado un producto nuevo. Todos aquellos bienes producidos en este sector son considerados bienes productivos.

1.1.4 Sector terciario

Según Pereira et al. (2011), el sector terciario se refiere a todas las actividades que no dan como resultado bienes tangibles, pero que, sin embargo, son necesarias para el funcionamiento de la economía. Estas actividades están principalmente compuestas por las actividades relacionados con los servicios, como los restaurantes, hoteles, transporte, educación, etc.

De acuerdo con Cajal (2022), la característica principal del sector terciario es la producción de servicios en lugar de productos, si bien se considera no productivo, este sector contribuye a la generación de empleos.

1.1.5 Industria metalmecánica

De acuerdo con Becerril et al. (2018), la industria metalmecánica en la actualidad es una industria muy importante para el desempeño de la industria manufacturera en México; sin

embargo, las importaciones de productos metalmecánicos han venido quitándole protagonismo a la misma en los últimos años.

Según Becerril et al. (2018), el sector metalmecánico genera una gran diversidad de bienes, que constituyen en su mayoría, insumos y componentes que son clave para un gran número de industrias en el país, como el sector automotriz, la aeronáutica o el sector energético.

1.1.6 Herramientas manuales

De acuerdo con Tamborero (1999), las herramientas manuales son utensilios de trabajo utilizados generalmente de forma individual, que únicamente requieren para su accionamiento la fuerza motriz humana. Su uso recae en una infinidad de actividades laborales, por lo que éstas toman una gran importancia en la actualidad.

Según Tools (2024), la revolución industrial causó el cambio más significativo en los procesos de fabricación de herramientas manuales. Ya que anteriormente las herramientas se fabricaban principalmente en pequeños lotes o uno a la vez. Hoy en día las empresas pueden fabricar herramientas más rápido y en volúmenes más altos, por lo tanto, las herramientas manuales de la actualidad son más variadas y avanzadas que nunca.

1.1.7 Revisión de tesis referentes al aumento de la productividad, a través de la mejora de indicadores, en el área de producción

En este apartado se describen tesis recolectadas que tienen en común el propósito de su estudio: mejorar los indicadores que afectan la productividad, mediante la aplicación de las fases DMAIC y *lean manufacturing*. Estas tesis son las siguientes:

- Casapaico (2022) en su tesis, *“incremento de la capacidad de producción de las líneas de empaque de embutidos y quesos aplicando la metodología DMAIC”*, describe la aplicación de la metodología DMAIC para incrementar la productividad del área de empaque de una línea de embutidos. La metodología utilizada, por el autor, fue la siguiente:
 - Definir.

- Medir.
- Analizar.
- Mejorar.
- Controlar.

Los resultados obtenidos, posterior a la aplicación de la metodología, fueron los siguientes:

- Mejora de la productividad de 0.95% a 1.12% en la línea de chorizos y salchichas.
- Mejora de la productividad de 0.25% a 0.34% en la línea de quesos.
- Reducción de las horas extras trabajadas, ocasionadas por retrasos en la producción de ambas líneas.

La lectura de esta tesis fue de interés, puesto que se observó la aplicación de la metodología DMAIC, en dos líneas de producción diferentes. La metodología DMAIC tuvo un impacto diferente en cada línea, pero en ambas se logró aumentar la productividad mediante la mejora de indicadores clave. La lectura de esta tesis será de utilidad para la elaboración del presente proyecto, ya que su objetivo se asemeja al de presente proyecto y, por lo tanto, se puede obtener una referencia de como cumplir con el mismo.

- Alvines (2021) en su tesis, titulada “*aplicación de DMAIC para mejorar la productividad en una línea de yogurt bebible de una empresa láctea*”, describe a las paradas no programadas en la línea, como factor principal de la baja eficiencia de la línea de envasado de yogurt. Con base en este problema, se utilizó la siguiente metodología:

- Definir.
- Medir.
- Analizar.
- Mejorar.
- Controlar.

Los resultados obtenidos, posterior a la aplicación de esta metodología, fueron los siguientes:

- Aumento de la productividad en un 22.03% en la línea de envasado de yogurt bebible.
- Aumento de la eficiencia en la línea en un 14.5%.
- Aumento del producto envasado después de la mejora, correspondiente a 105.93 kg.

La lectura de esta tesis fue de interés, ya que muestra que la aplicación de la metodología DMAIC, en conjunto con herramientas estadísticas, es eficiente y sí logra aumentar la productividad a través de la mejora de indicadores clave. Este trabajo será de utilidad para la elaboración del presente proyecto, ya que la aplicación de las técnicas fue llevada a cabo en un escenario similar al planteado en ésta.

- Godoy & Machuca (2021) en su tesis, titulada *“herramientas lean manufacturing para incrementar la productividad en la línea de ropa de cama de una empresa textil”*, describen la aplicación de herramientas *lean*: las 5S, mantenimiento autónomo y redistribución de planta; para aumentar la productividad de la línea de producción. La metodología utilizada fue la siguiente:
 - Detectar áreas de oportunidad.
 - Definir herramientas a utilizar, de acuerdo con las áreas de oportunidad detectadas.
 - Aplicar las 5S.
 - Aplicar la redistribución de planta.
 - Aplicar mantenimiento autónomo.
 - Obtener resultados.

Los resultados obtenidos, a través de esta metodología, fueron los siguientes:

- Reducción del tiempo estándar del proceso en un 4%.
- Reducción del *scrap* en un 67%.
- Reducción de los tiempos de recorrido en un 34%.
- Reducción del *lead time* en un 15%.

La lectura de esta tesis fue de interés porque describe la aplicación de las 5S, distribución de planta y mantenimiento autónomo, para aumentar la productividad. Esta tesis será de utilidad para el desarrollo del presente proyecto porque tiene como

objetivo aumentar la productividad mediante la mejora de indicadores en una línea de producción.

- Loayza & Quispe (2020) en su tesis, titulada “*aplicación de las metodologías 5S y VSM para mejorar la productividad de la empresa de muebles Cabrera CORP*”, describen la aplicación de las 5S y VSM con el objetivo de aumentar la productividad de la empresa Cabrera CORP. La metodología utilizada es descrita a continuación:
 - Analizar la situación inicial.
 - Dibujar el VSM del estado actual.
 - Detectar áreas de oportunidad.
 - Dibujar el VSM del estado futuro.
 - Aplicar las 5S.
 - Obtener resultados.

Los resultados obtenidos, posterior a la aplicación de la metodología, fueron los siguientes:

- Reducción del tiempo ciclo del proceso en un 13.58%.
- Aumento de la productividad en un 15.81%.

La lectura de esta tesis fue de interés porque se observó el uso del VSM como una herramienta de diagnóstico para la detección de áreas de oportunidad, que a su vez permitió identificar las áreas donde fue factible la aplicación de las 5S. Al mismo tiempo, las 5S permitieron mejorar los indicadores que afectaban a la productividad a través del orden, la organización y la estandarización. La lectura de esta tesis será de utilidad para el desarrollo del presente proyecto porque el VSM y las 5S pueden ser útiles, de acuerdo con la problemática detectada en el presente proyecto: falta de orden y limpieza en las estaciones de trabajo.

- Ríos (2018) en su tesis, “*aplicación de lean manufacturing para aumentar la productividad de la línea de producción de calzado de seguridad GYW de la empresa SEGUSA SAC*”, describe la aplicación de herramientas *lean*: balanceo de líneas, redistribución de planta y las 5S; para aumentar la productividad en el área de producción. La metodología empleada por el autor fue la siguiente:
 - Analizar la situación actual.
 - Identificar las áreas de oportunidad.

- Clasificar las áreas de oportunidad según su impacto en la productividad.
- Aplicar el balanceo de líneas.
- Realizar la distribución de planta.
- Aplicar las 5S.
- Obtener resultados.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Aumento de la eficiencia de un 59.07% a 83.60%.
- Reducción del personal de 21 a 17 operadores.
- Reducción de los recorridos del material.
- Reducción de los paros no programados en un 74.4%.

La lectura de esta tesis fue de interés porque mediante la aplicación del balanceo de líneas, redistribución de planta y las 5S se logró aumentar la productividad general de la línea de producción a través de la mejora de indicadores clave. Esta tesis será de utilidad para el presente proyecto porque demuestra que la aplicación de dos o más herramientas de ingeniería industrial si pueden mejorar indicadores clave, lo que se adapta al objetivo general del presente proyecto.

1.1.8 Revisión de artículos referentes al aumento de la productividad, a través de la mejora de indicadores, en el área de producción

En este apartado se describen artículos recolectados que tienen en común el propósito de su estudio: mejorar los indicadores que afectan la productividad, mediante la aplicación de las fases DMAIC y *lean manufacturing*. Estos artículos son los siguientes:

- Pushug (2023) en su artículo titulado, “*aplicación de la metodología DMAIC en una línea de envasado de polvo detergente para la reducción del costo de producción*”, redactó la metodología que utilizó para reducir desperdicios, los cuales no añadían valor al producto y aumentaban el costo de producción; dicha metodología es descrita a continuación:
 - Definir.
 - Medir.
 - Analizar.

- Mejorar.
- Controlar.

Los resultados obtenidos, posterior a la aplicación de la metodología, fueron los siguientes:

- Reducción de tiempos improductivos.
- Reducción del consumo de energía en un 20%.
- Aumento de la eficiencia en un 10.98%.
- Aumento de la disponibilidad en un 7.32%.
- Aumento de la productividad general de la línea en un 15.16%.

La lectura de este artículo fue de interés, porque muestra la aplicación de la metodología DMAIC y *lean manufacturing*: 5S, *Poka Yoke* y *SMED*; para mejorar indicadores clave y la productividad de una línea de producción. Lo anterior resultará útil para cumplir con el objetivo general del presente proyecto, ya que permite obtener una idea más clara respecto a la aplicación de las fases DMAIC en conjunto con técnicas *lean* y los posibles resultados a obtener.

- Chávez et al. (2022) en su artículo, “*optimización del proceso de barrenado para el incremento de la productividad y reducción de rechazos a través de la metodología DMAIC: Caso empresa del sector automotriz*”, describen al problema del proceso de barrenado como un área de oportunidad, detectado mediante un análisis inicial y recorridos por la planta. Con la finalidad de aumentar la productividad y reducir los rechazos por defectos se utilizó la siguiente metodología:

- Definir.
- Medir.
- Analizar.
- Implementar.
- Controlar.

Los resultados obtenidos, posterior a la aplicación de la metodología, fueron los siguientes:

- Disminución del porcentaje de rechazo, ocasionado por defectos.
- Aumento del nivel *six sigma* en un 5%.
- Disminución de gastos de operación.

La lectura de este artículo fue de interés, ya que demuestra que el desarrollo de la metodología DMAIC, en conjunto con herramientas de calidad, aumenta el índice de productividad en una línea de producción. Este trabajo servirá como referencia, puesto que se busca aplicar DMAIC para la mejora de los indicadores que afectan la productividad, en el presente proyecto.

- Vargas & Camero (2021) en su artículo, “*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*”, describieron la aplicación de herramientas *lean* para la mejora de indicadores que afectan la productividad en una línea de adhesivos acuosos. La metodología utilizada fue la siguiente:
 - Analizar la productividad.
 - Determinar la productividad.
 - Seleccionar el equipo de trabajo.
 - Capacitar al equipo de trabajo.
 - Diagnosticar mediante las 5S.
 - Aplicar las 5S.
 - Aplicar *Kaizen*.
 - Aplicar pruebas estadísticas.
 - Obtener resultados.

Con la metodología descrita se obtuvieron los siguientes resultados:

- Reducción del tiempo de proceso de fabricación del producto con mayor índice de ventas en el área de producción.
- Reducción del tiempo de fabricación en 3 horas y 6 minutos.
- Reducción de los tiempos innecesarios por búsqueda de materiales y por transporte del personal.
- Mejora de la organización y la limpieza del área de producción.

La lectura de este artículo fue de interés, puesto que es un caso de éxito referente a la aplicación de las 5S y *Kaizen* para el aumento de la productividad, a través de indicadores clave en un área de trabajo, lo cual es de utilidad para cumplir con el objetivo general del presente proyecto debido a que se busca aplicar las 5S, como

filosofía de cambio de pensamiento en los operadores, buscando adoptar un pensamiento de mejora continua.

- Plúas et al. (2019) en su artículo, “*mejora del proceso continuo mediante la aplicación de la metodología DMAIC en la línea de producción chocolatera de una empresa alimenticia,*” describen como se optimizaron recursos y disminuyeron desperdicios para aumentar la productividad en la línea de producción. La metodología utilizada fue la siguiente:

- Definir.
- Medir.
- Analizar.
- Mejorar.
- Controlar.

Con esta metodología se obtuvieron los siguientes resultados:

- Incremento del 56% en los niveles netos de producción.
- Reducción del 29% en las no conformidades por empaques vacíos.
- Estandarización del proceso productivo para la elaboración del banano con cubierta de chocolate.
- Establecimiento de los rangos para la materia prima utilizada en la producción.
- Reducción del 9% del número de cajas que no tenían el peso correspondiente.
- Capacitación del personal técnico y operativo de la planta.

La lectura de este artículo fue de interés, ya que permitió observar y estudiar la aplicación de la metodología DMAIC. Esto será de utilidad para el presente proyecto, ya que observó a detalle cada fase de DMAIC, lo que será de gran utilidad en una línea de producción.

- Garrido (2018) en su artículo titulado, “*aplicación de la metodología DMAIC para la mejora de la productividad de la línea de envasado de GLP en la empresa Pronto Gas S.A. en el año 2018*”, describe la generación de fallos en la línea de envasado, como problemática inicial, la cual fue detectada mediante recorridos por la planta y entrevistas con personal de planta. La metodología utilizada para revertir esta situación fue la siguiente:

- Analizar situación inicial.
- Identificar áreas de oportunidad.
- Determinar herramientas para la mejora.
- Aplicar *DMAIC*.

Posterior a la aplicación de la metodología, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Aumento en la eficiencia en un 2.08%.
- Aumento en la eficacia en un 3.31%.
- Aumento de la productividad de la línea de producción.

La lectura de este artículo fue de interés, puesto que demostró que la metodología DMAIC si permite el aumento de la productividad, mediante la mejora de indicadores, además, dentro de las fases correspondientes a la metodología, se observó la aplicación de pruebas estadísticas con la finalidad de validar los resultados. Esto servirá como referencia para el desarrollo del presente proyecto, ya que se busca validar estadísticamente las mejoras obtenidas.

- Chilón et al. (2017) en su artículo, “*implementación de las 5S para incrementar la productividad en una planta embotelladora de agua*”, describen los pasos utilizados para la aplicación de las 5S en una línea de producción de una empresa embotelladora, con el objetivo de aumentar la productividad. La metodología utilizada fue la siguiente:

- Analizar la situación inicial.
- Aplicar las 5S.
 - *Seiri* (seleccionar).
 - *Seiton* (ordenar).
 - *Seiso* (limpiar).
 - *Seiketsu* (estandarizar).
 - *Shitsuke* (disciplina).

Con esta metodología se obtuvieron los siguientes resultados:

- Aumento del agua embotellada por hora en un 29%.
- Aumento del agua ozonizada de 103.41 litros a 133.39 litros.

La lectura de este artículo fue de interés, ya que muestra como la aplicación de las 5S logró mejorar indicadores que afectaban la productividad en la línea de producción

de agua embotellada, con acciones de mejora continua, y con un seguimiento compuesto por revisiones y auditorías internas, con la finalidad de lograr que las mejoras y cambios realizados perduren a lo largo del tiempo. Esto será de utilidad ya que en el presente proyecto se busca atacar la falta de orden y limpieza en las estaciones de trabajo.

- Morey (2013) en su artículo, *“incremento de la productividad a través del mapeo de flujo de valor (VSM) en una empresa metalmecánica”*, describe el uso del VSM como una herramienta de diagnóstico, que a su vez permitió identificar cuellos de botella y áreas de oportunidad. La metodología empleada por el autor fue la siguiente:
 - Dibujar el estado actual.
 - Medir los indicadores.
 - Identificar los problemas.
 - Seleccionar las técnicas de mejoras.
 - Dibujar el estado ideal.
 - Implementar las técnicas seleccionadas.

Con la aplicación de la metodología se obtuvieron los siguientes resultados:

- Detección de áreas de oportunidad.
- Selección de herramientas para mejora del área.
- Aumento en la eficiencia del proceso en un 39.3 %.
- Reducción del tiempo total del proceso que pasó de 27.9 min a 17.39 min.

La lectura del artículo fue de interés, puesto que muestra como el mapeo del flujo de la cadena de valor (VSM) es usado como una herramienta de diagnóstico, facilitando la detección de áreas de oportunidad y el aumento de la productividad en la empresa en conjunto con otras herramientas de ingeniería industrial como el balanceo de líneas y redistribución de planta. Este trabajo será de utilidad para el desarrollo del presente proyecto, al llevarse a cabo en una empresa manufacturera y tener como objetivo la mejora de indicadores para aumentar la productividad en una línea de producción.

- Martínez & Barcia (2010) en su artículo titulado, *“propuesta para la implementación de la metodología de mejora 5S en una línea de producción de panes de molde”*, describen que, dado a altos niveles de suciedad y malas costumbres por parte de los

operadores, la productividad de la línea se veía afectada. Para lograr contrarrestar esto, emplearon la siguiente metodología:

- Analizar la situación inicial.
- Identificar las áreas de oportunidad.
- Mapear la cadena de flujo de valor.
- Identificar desperdicios.
- Aplicar las 5S.
- Medir y evaluar las mejoras obtenidas.
- Realizar un estudio Costo-beneficio.

De acuerdo a esta metodología los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Aumento en el nivel de productividad.
- Eliminación de las fuentes de desperdicio.
- Reducción del tiempo de ciclo del proceso.
- Cambio de mentalidad por parte de los operadores, adoptando una actitud positiva.

La lectura de este artículo fue de interés, ya que demuestra que la aplicación de las 5S es una manera efectiva de aumentar la productividad, mediante la mejora de indicadores como la eliminación de fuentes de desperdicio, el orden y la disciplina en las estaciones de trabajo, lo que se busca lograr con el desarrollo del presente proyecto.

1.2 Generalidades de la empresa en estudio

Dentro del contenido de este apartado se mencionarán los antecedentes de la empresa y aspectos relevantes como la misión, visión, valores y los diferentes procesos de producción que la conforman.

1.2.1 Antecedentes de la empresa

La empresa en estudio fue fundada en 1920, en sus inicios se dedicaba exclusivamente a la fabricación de tijeras para la poda de árboles de naranja. Su primera planta industrial -y que la vio nacer como a la empresa que es hoy en día- está ubicada en California, en los Estados Unidos de América. No fue hasta el año de 1930 que esta empresa amplió sus instalaciones

y cambio la localización de su planta. Su expansión trajo consigo la introducción de un nuevo producto para la poda de árboles de limón y otro para la poda de césped.

El éxito de la empresa en estudio surgió a raíz de los beneficios que proporcionaban las herramientas de corte especializadas para agricultura, específicamente para el corte de cítricos y la poda de césped. De esta manera, y gracias al gran éxito que empezó a tener la empresa a lo largo de los años, se fueron introduciendo nuevos modelos de tijera especializadas para el corte de diferentes cultivos, con el objetivo de ofrecer una gran variedad de artículos de calidad y ser un referente en el mercado de su sector.

En el año 2005 esta empresa se convirtió en una empresa binacional al extender sus operaciones a México, este movimiento surgió a raíz de que la Corporación Patricio Echeverría decidió llevar a cabo la instalación de una planta en el centro del estado de Veracruz. Por lo que, desde entonces, tiene el rol de una empresa maquiladora de materia prima, de la cual su único cliente es Estados Unidos.

1.2.2 Ubicación

La empresa en estudio hoy en día es un referente de calidad en la fabricación de herramientas de corte para poda, jardinería y agricultura. Actualmente, una de sus plantas y en donde se desarrolló el presente proyecto, se encuentra ubicada en el territorio mexicano, en el centro del estado de Veracruz, como se ilustra en la Figura 1.1.



Figura 1.1 Macro localización de la empresa en estudio (Fuente: Google, 2024).

1.2.3 Misión

La empresa en estudio, junto con el corporativo del cual forma parte, tiene la misión de ser un referente en la fabricación de herramientas de corte, además de competir con sus rivales directos y destacar por sus precios competitivos y la vida útil de sus productos. La empresa actualmente tiene definida la siguiente misión:

“Estamos comprometidos a establecer un estándar de excelencia en la industria mientras creamos una atmósfera de continuo enriquecimiento para nuestros empleados, dueños, clientes y comunidad. Haremos esto por medio de invertir en nuestro futuro a través de:

- *Entrenamiento continuo y educación*
- *Mejoramiento continuo de las técnicas de producción*
- *Apoyar un ambiente que valora el trabajo en equipo, la comunicación abierta, la seguridad y el reconocimiento.*
- *Proveer a nuestros clientes un servicio sobresaliente e innovador, productos de diseño superior y alta ingeniería.”*

1.2.4 Visión

La empresa en estudio es una empresa líder que ofrece productos de larga duración a sus clientes, convirtiéndose en sinónimo de calidad, de este modo, la visión de ésta es la siguiente:

“Ser la empresa más eficiente de la unidad hand tools, referentes en resultados en el cumplimiento normativo aplicable hacia la responsabilidad ambiental, social, seguridad y salud en el trabajo, que promueve el desarrollo del personal, estabilidad laboral y de la región, así como la constante innovación y actualización tecnológica para la calidad de sus productos y procesos.”

1.2.5 Valores

La empresa en estudio tiene como objetivo fomentar en cada uno de sus colaboradores los siguientes valores que los rigen como empresa, con la finalidad de que cada uno se identifique con la empresa y lograr brindar un servicio de calidad a sus clientes y proveedores:

- *“Integridad.*

Ser respetuosos, honestos y coherentes en la forma de pensar, actuar y relacionarnos dentro y fuera de la organización.

- *Compromiso.*

Liderar con pasión y responsabilidad, esforzándonos al máximo para alcanzar los objetivos.

- *Orientación al cliente.*

Responder a las necesidades de nuestros clientes internos y externos, involucrándolos en los procesos de innovación y generación de valor.

- *Trabajo en equipo.*

Crear, trabajar y aprender en equipos apasionados demostrando la diferencia entre cooperación y colaboración.

- *Dinamismo.*

Ser ágiles y retarnos a nosotros mismos y a los demás para mejorar cada día, aceptando nuevas ideas, conceptos y oportunidades”.

1.2.6 Organigrama

Actualmente, la empresa en estudio cuenta con alrededor de 130 trabajadores, que se reparten en los 25 puestos de trabajo que la empresa plasma en su organigrama como organización. Los puestos se encuentran identificados de acuerdo con el área de la empresa. Algunos ejemplos de los puestos, dentro de ésta, de acuerdo con el área de trabajo son los administrativos: recursos humanos, director de operaciones, coordinador de logística, etc.; puestos de planta de producción: gerente de planta, supervisores, inspectores, etc.; y puestos de almacén: encargado de almacén, almacenistas, montacarguistas etc. El organigrama de la empresa en estudio se ilustra en la F.

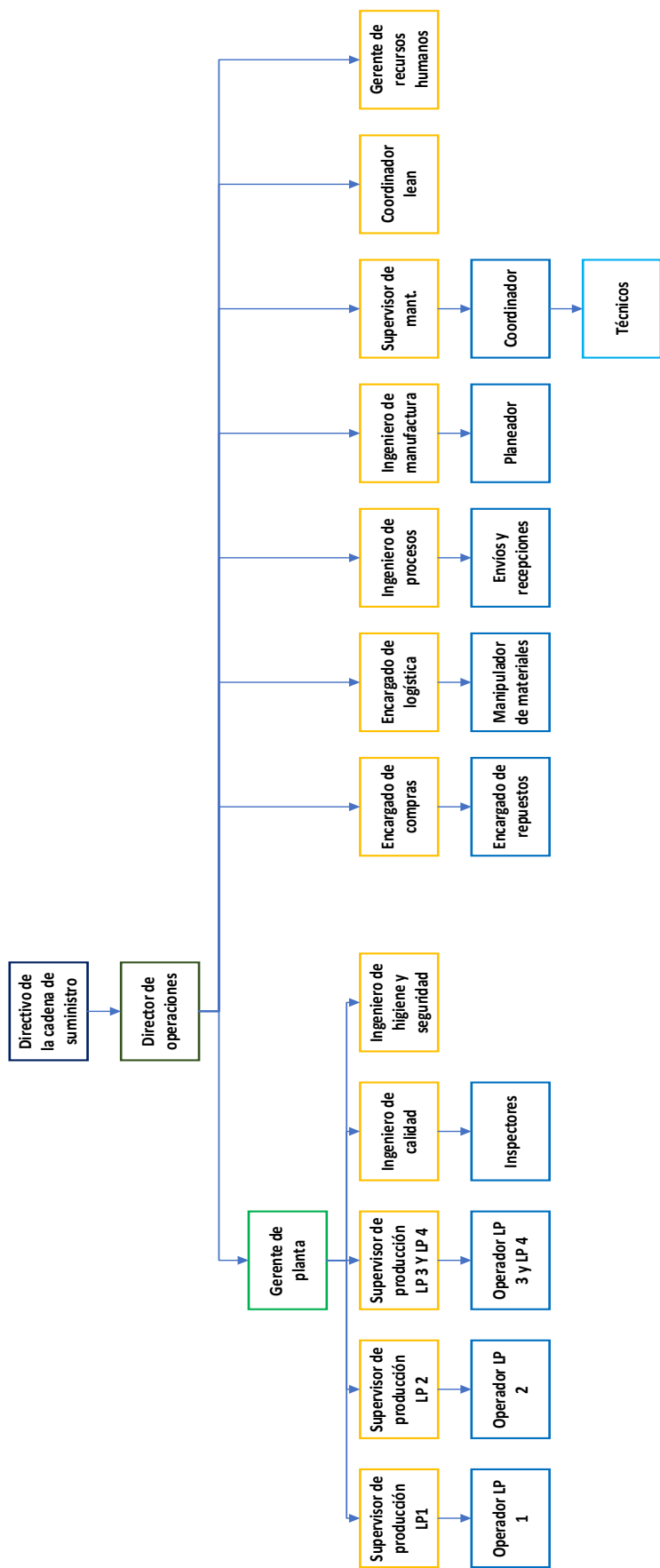


Figura 1.2 Organigrama empresa en estudio (Fuente: elaboración propia).

1.2.7 Distribución de planta

La nave industrial de la empresa en estudio se encuentra compuesta por cuatro líneas de producción, (LP1 a LP4), las mismas se encuentran compuestas por células de manufactura, donde se fabrican única y exclusivamente herramientas para corte y poda de uso manual. Las cuatro líneas de producción tienen una división clara entre sus productos, debido a que el tamaño de las herramientas fabricadas en cada una va aumentando, desde las que se pueden utilizar con una mano hasta las que necesitan ser utilizadas con las dos manos por el tamaño de éstas. Estas líneas de producción poseen las siguientes características:

- LP 1. Esta línea se encuentra compuesta por dos células de manufactura en donde se fabrican herramientas de corte para una mano, entre sus principales productos se encuentran tijeras para corte de tallos, flores, frutos, ramas y arbustos hasta de una de pulgada de diámetro.
- LP 2. Esta línea está compuesta por tres células de manufactura, donde son fabricadas tijeras que principalmente son utilizadas para el corte de cítricos, como lo son limones, lima, naranja, mandarina, etc.
- LP 3. Esta línea cuenta con tres células de manufactura donde se fabrican tijeras que requieren el uso de dos manos. Estas tijeras son utilizadas para poda y para corte de frutos mucho más grandes; como mangos.
- LP 4. Esta línea, se encuentra compuesta por dos células de manufactura; su principal característica es que fabrica tijeras con la capacidad de cortar arboles de hasta dos y cuarto pulgadas de diámetro y que por sus características brindan un alto rendimiento en los cortes realizados.

La distribución actual de la nave industrial de la empresa en estudio, que se ilustra en la Figura 1.2, está compuesta por el área de producción, almacenes, oficinas y patio para la carga y descarga de materia prima y producto terminado. El área de producción está conformada por cuatro líneas de producción: LP 1, LP 2, LP 3, LP 4; el orden de éstas es de izquierda a derecha.

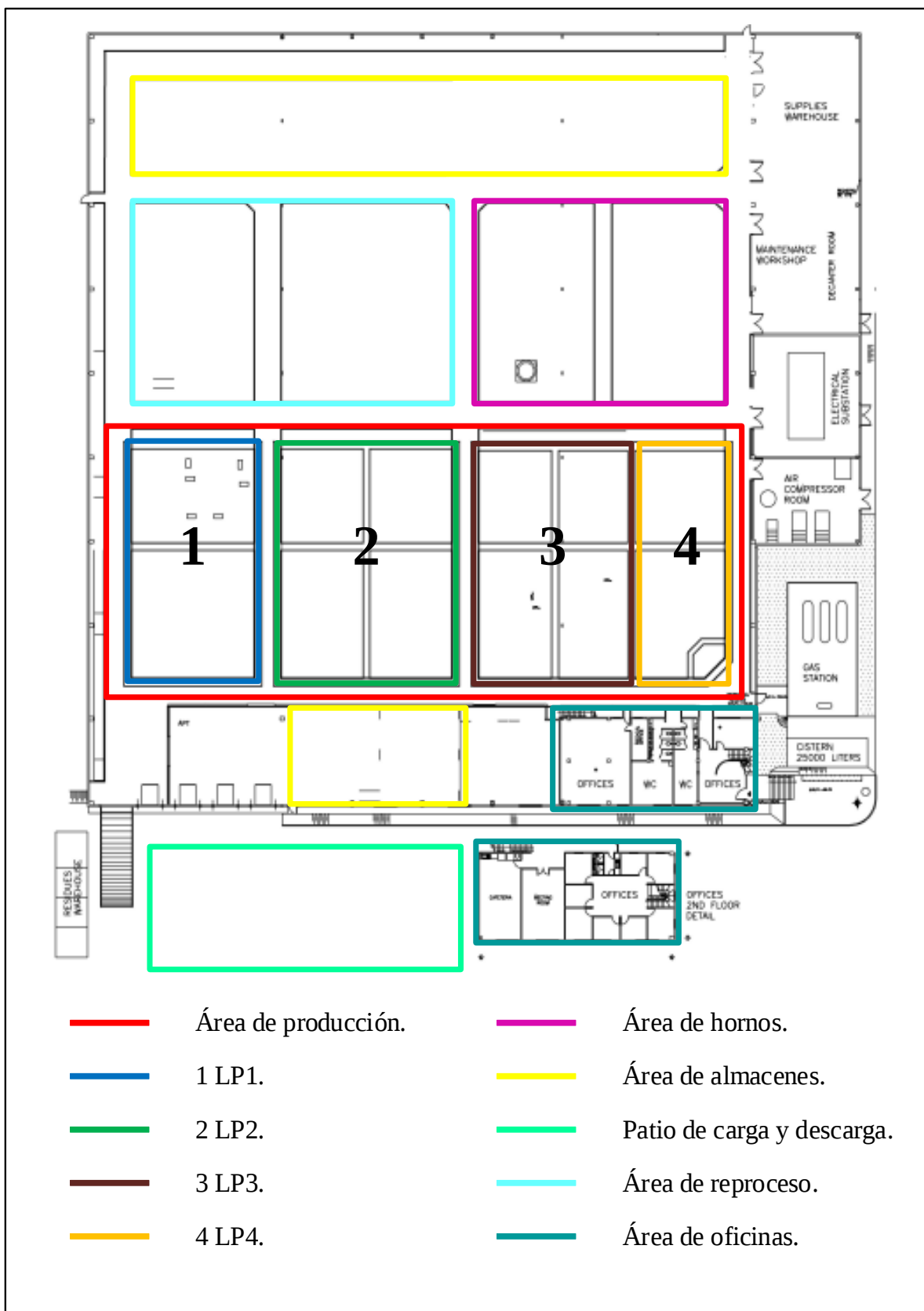


Figura 1.2 Distribución de planta (Fuente: elaboración propia).

1.2.8 Política de calidad, seguridad, salud, medio ambiente y biodiversidad

Para la empresa en estudio, la satisfacción de los clientes se basa en el compromiso de mejorar continuamente la calidad de sus productos, contemplando los requerimientos y expectativas del cliente al mejor costo y dentro del marco legal aplicable. El objetivo principal y los objetivos particulares de la política de calidad, seguridad, salud, medio ambiente y biodiversidad de la empresa son los siguientes:

“Esforzarse en proporcionar un ambiente de trabajo seguro y saludable mediante el análisis de riesgo a los procesos y la capacitación constante; afirmando el compromiso con la preservación del medio ambiente, la flora y la fauna a través de la minimización del impacto ambiental resultante de sus actividades.

- *Reducción de tiempo en la operación.*
- *Reducción de porcentaje de desechos (scrap) de la producción.*
- *Reducción del porcentaje de re-trabajo del total de órdenes liberadas.*
- *Mejorar la productividad.*
- *Mejorar el desempeño en seguridad y salud.*
- *Reducción y prevención de la contaminación al medio ambiente.*
- *Reducción de la pérdida a la biodiversidad del entorno.*
- *Órdenes enviadas a tiempo.*
- *Reducir los defectos enviados al cliente.*
- *Reducir las reclamaciones de los clientes.*
- *Reducir los errores en envíos”.*

1.2.9 Línea de producción 2

La empresa en estudio, actualmente, fabrica diferentes productos, los cuales son identificados por referencias alfanuméricas, la producción de éstos se divide entre las cuatro líneas de producción que conforman el área operativa. La línea LP 2, actualmente, es donde se produce el mayor número de tijeras. En el diagrama de flujo (Figura 1.3) se ilustra el recorrido que sigue la tijera más fabricada de la línea, a través de los distintos procesos que la conforman.

1.2.9.1 Materia prima

La materia prima principal de la empresa en estudio son forjas de metal exportadas del extranjero. Los pedidos de materia prima son realizados por el departamento de logística, mensualmente, de acuerdo con el plan de producción para cada línea.

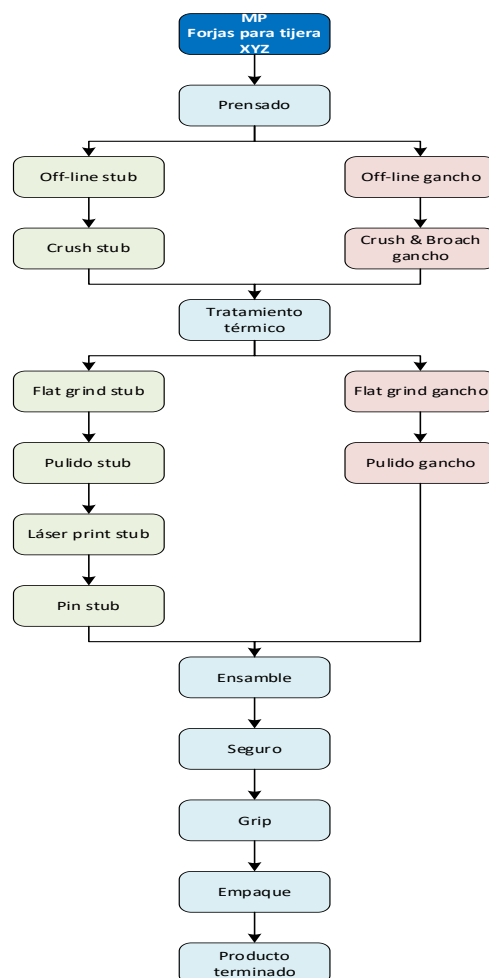


Figura 1.3 Diagrama de flujo de proceso de la tijera con mayor volumen de producción (Fuente: elaboración propia).

La materia prima es transportada desde países como Taiwán, India y Vietnam por medio de transporte marítimo hasta llegar al continente americano, donde su traslado es terrestre hasta llegar a las instalaciones de la empresa en estudio para su posterior tratamiento y transformación a producto terminado.

1.2.9.2 Prensado

El proceso de prensado es realizado por un operador con ayuda de una prensa hidráulica y moldes para el prensado de las forjas, la cantidad de forjas prensadas varía dependiendo el tipo de tijera.

El proceso de prensado inicia cuando el operador abre una caja de forjas, que se dividen en *stub* y gancho, y las coloca en su estación de trabajo, posterior a esto el operador toma forjas de una en una y las coloca en el molde que se encuentra en la prensa, para inmediatamente activar el mecanismo de ésta y darle la forma adecuada a la forja.

Finalmente realiza una inspección visual rápida para corroborar que la forja no tiene una malformación en su cuerpo, si es así realiza la operación de prensado nuevamente, de lo contrario deposita la forja en una caja; finalizando así el proceso de prensado de una pieza.

1.2.9.3 Off-line

El proceso de *Off-line* es realizado por un operador para el *stub* y gancho, en este proceso se realizan los orificios y ranuras que posteriormente servirán para ensamblar ambas partes y convertirlas en una tijera. Para realizar el proceso se cuenta con siete máquinas-herramientas, como taladros y fresadoras, que son activadas por medio de botoneras colocadas sobre las mesas de trabajo.

El proceso comienza cuando el operador coloca un *stub* y un gancho debajo de los primeros taladros y realiza los primeros orificios, posterior a ello las mueve a las siguientes máquinas y coloca otras dos en las primeras máquinas-herramientas, hasta generar un flujo de dos piezas a través de las siete máquinas-herramientas disponibles. Las operaciones realizadas en este proceso son taladrados y avellanados.

1.2.9.4 Crush & Broach

Este proceso es únicamente realizado para el gancho de la tijera por un operador inmediatamente después del proceso de *Off-line*. Este proceso comienza una vez que el gancho ha terminado el proceso anterior y el operador lo toma para colocarlo sobre una piedra abrasiva, la cuál es activada por medio de una botonera, así esmerila la superficie del gancho.

Después el operador toma el gancho, lo coloca sobre una base especial, en su mesa de trabajo, y le introduce una varilla que le da forma ovalada al orificio central -orificio con mayor diámetro, taladrado previamente-, lo que servirá para colocar el tornillo que unirá el gancho y el *stub*. Una vez realizado esto los ganchos son colocados sobre una base mientras se enfrían y posteriormente colocados en canastas para su traslado al siguiente proceso.

1.2.9.5 Tratamiento térmico

El tratamiento térmico es realizado en hornos a una temperatura de 1,525 °F, este proceso es realizado con la finalidad de darle la dureza necesaria a las forjas, para que éstas no se rompan con facilidad cuando sean utilizadas como una tijera y se ejerza fuerza sobre ellas. Este proceso es realizado por un operador, el cual es el encargo de introducir las canastas con las forjas dentro de los hornos. Las canastas permanecen tres horas y posterior a ello el operador las saca las coloca en un ventilador para enfriarlas, lo más rápido posible, y puedan ser enviadas al siguiente proceso.

1.2.9.6 Flat grind

Este proceso es realizado por un operador con ayuda de una máquina llamada *Flat grind* la cual cuenta con dos mesas de trabajo en las que se pueden colocar hasta 50 piezas: ganchos o *stub*; en cada una. En este proceso se les realiza un rectificado a ambas caras del *stub* o del gancho.

El proceso comienza cuando el operador coloca 50 forjas en la primera mesa de trabajo y activa la piedra abrasiva, posterior a esto las riega con un líquido refrigerante, las quita y las sumerge dentro de un antioxidante mientras coloca otras 50 forjas en la primera mesa de trabajo, las forjas que ha retirado anteriormente las coloca en la segunda mesa de trabajo, en

la posición opuesta para que la máquina rectifique el lado faltante. Por último, quita la rebaba de las piezas terminadas con ayuda de una pulidora pequeña y las colocas en cajas.

1.2.9.7 Pulido

El proceso de pulido es realizado por dos operadores con ayuda de una máquina pulidora: una para cada uno. En este proceso se pulen partes específicas para el *stub* y gancho con el objetivo de dar un mejor acabado al producto final. El proceso comienza cuando el operador toma una pieza y la pule de acuerdo con las características y especificaciones de cada tipo de tijera y termina cuando el operador la coloca en una caja para pasar al siguiente proceso.

1.2.9.8 Láser *print*

Este proceso es realizado por un operador y únicamente se realiza en el *stub*, para esto se cuenta con una máquina láser que es la encargada de grabar, en la parte superior de la pieza, el logo de la empresa.

Este proceso inicia cuando el operador toma dos piezas y las coloca en la base de la máquina láser, posterior a esto acciona la máquina para que empiece a grabar sobre ambas piezas, la máquina al contar con una base especial para ambas piezas evita que el operador tenga que centrarlas para que el grabado quede en el lugar deseado. Finalmente, el operador va colocando las piezas ya grabadas en una caja que será enviada al siguiente proceso cuando el lote de transferencia esté completo.

1.2.9.9 Colocación de pines

La colocación de pines, únicamente, es realizado para el *stub* y lo realiza un operador con ayuda de una máquina pinadora. Este proceso es realizado para ensamblar la hoja de corte en el *stub*.

El proceso comienza cuando el operador abastece a la máquina con pines, después toma una pieza, la coloca sobre la base metálica con la que cuenta la máquina y la acciona con una botonera ubicada en la misma, de esta manera la máquina baja a presión e inserta los pines. Finalmente realiza una inspección visual para corroborar que los pines ingresaron correctamente y coloca el *stub* con los pines en una caja.

1.2.9.10 Ensamble

El proceso de ensamble es realizado por dos operadores:

- El primero de ellos es el encargado de realizar el ensamble entre el *stub* y el gancho, para ello primeramente toma un *stub* y coloca en él la hoja de corte, proporcionada por un proveedor, inmediatamente introduce un resorte en el desbaste central del *stub* y un tornillo en el medio del mismo, toma un gancho y lo une con el *stub* preensamblado, finalmente toma una tuerca para el tornillo y la ajusta con un taladro semiautomático, realiza una inspección visual rápida de esta última operación y la pasa al siguiente operador.
- El segundo operador es el encargado de realizar los últimos ajustes e inspecciones antes de pasar al siguiente proceso. Esta parte del proceso consiste en ajustar los mangos de la tijera, con ayuda de herramienta especializada, y corroborar que las puntas de la tijera estén cerradas y alineadas, para finalmente realizar una prueba de corte en papel, una vez hecho esto coloca las tijeras dentro de cajas, quedando listas para la siguiente operación.

1.2.9.11 Instalación de seguro

Este proceso consta de poner un seguro a la tijera ya ensamblada con la finalidad de mantenerla cerrada y facilitar su transporte, así como otorgar seguridad al usuario final. El proceso es realizado por un operador con ayuda de un taladro semiautomático. Para realizar esta tarea el operador toma una tijera ya ensamblada, proveniente del proceso anterior, y la coloca sobre su mesa de trabajo, después toma un seguro y un sello y los coloca en la tijera para introducir un tornillo y ajustarlo con el taladro, finalmente va colocando las tijeras en cajas para traslado al siguiente proceso.

1.2.9.12 Instalación de *grip*

El *grip* es una pieza de plástico flexible que mediante calor logra tomar la forma deseada, en este caso la del mango de la tijera. Este proceso consiste en calentar los *grips* en un horno, a una temperatura de 50 °F, para posteriormente introducirlos en los mangos de las tijeras y con ayuda de un par de pistones ajustarlos hasta la altura deseada.

Después el operador toma dos sellos de plástico y los pone en las puntas del mango para sellar los *grips*, estos sellos son introducidos de manera manual por el operador. Finalmente, realiza una inspección visual y de ser necesario un ajuste, se realiza antes de poner las piezas terminadas en cajas.

1.2.9.13 Empaque

El proceso de empaque es realizado por dos operadores, el tipo de presentación para empaque varía de acuerdo con el producto final:

- El primer operador se encarga de limpiar las hojas de las tijeras con un antioxidante y realizar la última inspección antes de su empaque final.
- El segundo operador es el encargado de colocar en su empaque cada tijera para su presentación final.
- El tercer operador se encarga de ir colocando las tijeras dentro de una caja, la cantidad de tijeras por caja varía de acuerdo con cada producto. Finalmente, coloca una pegatina de identificación en cada caja y las pasa por una máquina encintadora, para su posterior estibo y traslado al almacén de producto de terminado.

1.3 Objetivos

En esta sección se indicará el objetivo general y los objetivos específicos de este proyecto, para alcanzar el objetivo general será indispensable cumplir con cada uno de los objetivos específicos planteados.

1.3.1 Objetivo general

El objetivo general, planteado para alcanzar el propósito principal del presente proyecto, es descrito a continuación:

Mejorar los indicadores que afectan la productividad en una línea de producción, de una empresa del centro del estado de Veracruz, mediante la aplicación de las fases DMAIC y *lean manufacturing*.

1.3.2 Objetivos específicos

En esta sección se describen los objetivos específicos del presente proyecto, los cuales fueron establecidos con base en la metodología planteada en el presente proyecto. El cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos, permitirá cumplir con el objetivo general del proyecto:

1. Definir el área piloto para el desarrollo del proyecto, a través de recorridos y entrevistas en la planta.
2. Medir los indicadores que afectan la productividad, para obtener los valores reales antes de la mejora.
3. Analizar y definir causa raíz de los problemas que afectan a los indicadores.
4. Mejorar los indicadores que afectan la productividad mediante la aplicación de *lean manufacturing*.
5. Medir los indicadores que afectan la productividad después de las mejoras.
6. Validar estadísticamente los resultados obtenidos posterior a la aplicación de las mejoras.
7. Controlar los resultados obtenidos posterior a las mejoras, para garantizar su duración a lo largo del tiempo.

1.4 Justificación

La empresa en estudio presenta en la línea de producción LP 2, desorden y falta de limpieza en las estaciones de trabajo, errores en la ejecución de procedimientos por parte del personal operativo y problemas de comunicación con los departamentos de mantenimiento y almacén, como consecuencia, existen tiempos grandes de preparación de máquinas y desperdicio de material, indicadores que afectan directamente a la productividad de esta línea. Lo que provoca demoras en el cumplimiento de la demanda y gastos adicionales por chatarra y retrabajos.

De acuerdo con este escenario, la elaboración del presente proyecto se justifica por la necesidad de la empresa en estudio de mejorar los indicadores que afectan la productividad en la línea de producción LP 2, mediante las fases DMAIC y *lean manufacturing*. Como

consecuencia de la mejora de los indicadores, que afectan la productividad de la línea, se puede lograr una serie de beneficios significativos, tales como el aumento de la eficiencia operativa, la reducción de fallos en la producción y la mejora de la calidad del producto final. Esto no solo permitirá a la empresa aumentar su competitividad en el mercado, sino que también optimizará los recursos y mejorará la satisfacción del cliente.

Expuesto lo anterior, y de acuerdo con las lecturas realizadas, en las distintas fuentes de información, correspondientes a la investigación del estado de campo, es importante mencionar que existen diferentes trabajos donde se han mejorado los indicadores que afectan a la productividad; sin embargo, durante esta investigación no se encontró ningún trabajo que contemple la aplicación de las fases de DMAIC y *lean manufacturing*, para la mejora de los indicadores que afectan la productividad, en una empresa de giro manufacturero. Por lo tanto, el desarrollo del presente proyecto servirá como ejemplo para futuros proyectos con un enfoque similar.

Se espera que la realización de este proyecto sirva como una herramienta de aprendizaje y guía para futuros trabajos, orientados a la mejora de indicadores que afectan la productividad en líneas de producción mediante las fases DMAIC y *lean manufacturing*, lo que permitirá obtener un panorama más claro de la aplicación de estas herramientas para la solución de problemas de este tipo, en la industria de giro manufacturero. Por último, el desarrollo del presente proyecto permitirá aplicar los conocimientos adquiridos, durante el periodo que dura la maestría en ingeniería industrial en el Tecnológico Nacional de México: Campus Orizaba; a través de la solución de una problemática real detectada en la industria.

1.5 Conclusión

La revisión literaria, de artículos y tesis, permitió identificar metodologías utilizadas por distintos autores, para la mejora de indicadores que afectan la productividad en líneas de producción, lo que servirá para la realización del presente proyecto. De la revisión literaria se obtuvo un panorama amplio de distintas herramientas de *lean manufacturing*, que pueden ser utilizadas, y diversos casos de la aplicación de DMAIC para aprender acerca de los obstáculos y retos que contempla la aplicación de estas fases.

Capítulo 2

Marco teórico

En el presente capítulo, se proporciona una descripción general de las herramientas y técnicas de ingeniería industrial empeladas en el desarrollo del presente proyecto. Estas herramientas, fueron seleccionadas con el propósito de cumplir el objetivo general: mejorar los indicadores que afectan la productividad en una línea de producción, de una empresa del centro del estado de Veracruz, mediante la aplicación de las fases DMAIC y *lean manufacturing*.

2.1 Herramientas de diagnóstico y análisis del proceso

En esta sección, se describieron herramientas de diagnóstico para procesos industriales, ampliamente reconocidas en el ámbito de la ingeniería industrial. Entre ellas el diagrama SIPOC, el diagrama de Ishikawa y el *Value Stream Mapping*.

2.1.1 Diagrama SIPOC

El diagrama SIPOC constituye una representación gráfica de un proceso, empleada con el propósito de visualizar y definir sus elementos clave. Esta herramienta permite la identificación y comprensión de los aspectos más críticos y relevantes del proceso, con el fin de facilitar la implementación de mejoras.

De acuerdo con Jiménez (2012), el diagrama SIPOC se posiciona como un complemento visual invaluable para el mapeo de procesos. En él se incorpora la interacción, tanto de proveedores como de clientes, junto con una declaración de los recursos necesarios y los resultados del proceso.

De acuerdo con Guerra (2019), el diagrama SIPOC se conforma por las siguientes categorías:

- *Supplier* (proveedor): Esta categoría es la que proporciona las entradas al proceso; puede ser una persona u otro proceso.

- *Input* (entrada): Esta categoría hace referencia al material, información, datos, documentación o servicio que se necesita para realizar las actividades del proceso.
- *Process* (proceso): Esta categoría se refiere a la secuencia de actividades que añaden valor a las entradas y que posteriormente producen las salidas.
- *Ouput* (salida): Esta categoría hace referencia al producto, servicio, información o documentación que es importante para el cliente.
- *Customer* (cliente): Esta categoría se refiere al usuario de la salida del proceso.

2.1.1.1 Ventajas del diagrama SIPOC

El diagrama SIPOC representa una herramienta fundamental que establece una base sólida para la comprensión, el análisis y la mejora de procesos, lo que contribuye a la eficiencia operativa, la calidad del producto o servicio y la satisfacción del cliente. De acuerdo con Guerra (2019), las ventajas del diagrama SIPOC son las siguientes:

- Permite entender bien el proceso. El diagrama SIPOC permite identificar y entender el propósito y alcance, los pasos del proceso, los recursos necesarios, los roles involucrados y las actividades que aportan valor.
- Facilita la definición de las métricas del proceso. Este diagrama permite identificar las métricas que rigen al proceso y que son utilizadas para la medición del mismo.
- Identifica los puntos de mejora en el proceso. Este diagrama permite analizar el proceso para identificar, de manera sencilla, los puntos de mejora y con ello guiar la aplicación de acciones correctivas.
- Permite entender la relación entre el proceso y otros procesos. Este diagrama permite realizar la comparación entre las actividades de un proceso con las de otro, en busca de soluciones a los problemas, o bien para orientarse en la búsqueda de una solución de acuerdo con la naturaleza del problema en la empresa.

2.1.1.2 Pasos para realizar un diagrama SIPOC

La efectividad del diagrama SIPOC radica en la elaboración del mismo. Para lograr una representación precisa y útil del proceso, es crucial seguir una metodología específica, que no sólo asegure la claridad en la identificación de los elementos clave del proceso, sino que

también proporcione una base sólida para la implementación de mejoras. De acuerdo con Falcó (2009) los pasos para realizar un diagrama SIPOC son los siguientes:

1. Dividir el proceso en fases. Se recomienda que el proceso se divida en fases que se consideren relevantes; éstas serán ubicadas en la columna “Proceso”.
2. Establecer materiales o servicios. Es recomendable establecer materiales o servicios externos que se reciben en cada una de las fases del proceso; éstos serán ubicados en la columna “Entradas”.
3. Establecer proveedores. Se recomienda establecer quienes son los proveedores de los materiales o servicios externos que se reciben en cada fase; éstos serán ubicados en la columna “Proveedores”.
4. Establecer salidas. Es importante establecer que es lo que se entrega al final de cada fase; estas salidas serán ubicadas en la columna “Salidas”.
5. Establecer clientes. Se recomienda establecer quien es el que recibe la salida de cada fase; éstos serán ubicados en la columna “Clientes”.

2.1.2 Diagrama de Ishikawa

De acuerdo con Galgano (1995), el diagrama de Ishikawa es una representación gráfica que ilustra las relaciones existentes entre una característica y sus factores o causas subyacentes. Este tipo de diagrama proporciona una estructura ordenada y completa, para identificar las posibles causas que pueden contribuir a un problema particular y constituye una base sólida para llevar un análisis causa-efecto detallado y efectivo.

De acuerdo con Falcó (2009), el diagrama de Ishikawa es una herramienta ampliamente utilizada para relacionar los efectos con las causas de un problema, su naturaleza visual lo convierte en una herramienta especialmente útil para la generación de ideas y la identificación de causas subyacentes, lo que facilita el proceso de análisis y resolución de problemas.

2.1.2.1 Factores 6 M' s

Los factores conocidos como las 6 M 's, son elementos fundamentales que intervienen en los procesos de fabricación, y a su vez están estrechamente relacionados con el diagrama de Ishikawa. De acuerdo con Escalante (2008), estos factores son los siguientes:

- **Método.** Se refiere a los procedimientos, técnicas o pasos específicos utilizados para llevar a cabo un proceso de fabricación o una actividad específica.
- **Mano de obra.** Se refiere al personal operativo que participa de manera directa en el proceso de fabricación o la ejecución de una actividad específica.
- **Materia prima.** Se refiere a los materiales o componentes utilizados para la fabricación de un producto o en dado caso a los recursos utilizados para brindar un servicio.
- **Medición.** Se refiere a los sistemas y herramientas utilizados para medir y controlar el proceso de fabricación.
- **Medio.** Se refiere al entorno, condiciones y espacio en el que se lleva a cabo un proceso de fabricación o una actividad específica.
- **Maquinaria y equipo.** Hace referencia a las herramientas, equipos y maquinaria utilizados en un proceso de producción, dentro de una empresa para la fabricación de sus productos.

2.1.2.2 Usos fundamentales del diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa es fundamental porque ofrece una metodología efectiva y visual para analizar problemas y encontrar soluciones factibles. Estas soluciones no sólo abordan las causas raíz de los problemas, sino que también contribuyen positivamente a mejorar la calidad y eficiencia de los procesos en cualquier empresa. De acuerdo con Galgano (1995), este diagrama puede utilizarse para lo siguiente:

- Mejora de procesos.
- Mejora de calidad en los productos.
- Mejora de la eficiencia de las instalaciones y del servicio.
- Reducción de costos.

- Afrontar las causas de reclamaciones.
- Afrontar defectos.
- Afrontar anomalías.
- Establecer nuevos procedimientos operativos.
- Establecer revisiones de procedimientos desactualizados.

2.1.2.3 Pasos para realizar un diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa es una herramienta esencial, utilizada principalmente para la identificación de causas raíz de problemas. Su efectividad radica en su correcta aplicación, lo cual implica seguir una serie de pasos estructurados que proporcionen un marco claro para la identificación de causas y desarrollar soluciones efectivas. De acuerdo con Cantú (2011) los pasos para realizar un diagrama de Ishikawa son los siguientes:

1. Definir problemática. Se refiere a la selección del problema a analizar o característica de calidad que será considerada, con el objetivo de identificar sus causas subyacentes.
2. Formar un equipo. Se recomienda formar un equipo de trabajo con mínimo tres integrantes, que tengan conocimientos sobre el área y la problemática.
3. Escribir la problemática seleccionada. La problemática seleccionada debe ser escrita en el lado derecho de la hoja de trabajo y dibujar una flecha de izquierda a derecha apuntando hacia ésta para indicar su relación con el resto del diagrama.
4. Escribir los factores principales. Se deben escribir los factores principales en rectángulos, por encima y por debajo de la flecha central, conectándolos mediante flechas en diagonal a ésta
5. Escribir causas de la problemática. Se deben escribir las causas que se consideren como la causa del problema en cada una de las ramas y con base en el factor del que se trate.

2.1.3 Value Stream Mapping (VSM)

De acuerdo con Socconini (2019), un mapa de valor es una representación gráfica de elementos de producción e información que permite conocer y documentar el estado actual y futuro de un proceso. Esencialmente, sirve como punto de partida para el análisis del valor

añadido al producto o servicio en cuestión, además constituye una valiosa fuente de información sobre las limitaciones reales de una empresa, al permitir identificar de manera visual áreas de oportunidad.

De acuerdo con Cabrera (2014), el mapeo de flujo de valor es una herramienta esencial para la visualización y comprensión de un proceso, al mismo tiempo facilita la identificación de cualquier tipo de desperdicio presente en el mismo. Además, fomenta el establecimiento de un lenguaje común entre todos los implicados, lo que facilita la comunicación efectiva de ideas de mejora y permite focalizar los esfuerzos de mejora en áreas prioritarias mediante un plan estratégico bien definido.

2.1.3.1 Indicadores importantes de un VSM

Los indicadores del VSM son herramientas fundamentales para medir, identificar, monitorear y comunicar el rendimiento y las mejoras dentro un proceso de producción, lo que a su vez ayuda a impulsar la eficiencia y la efectividad operativa. De acuerdo con Socconini (2019), dos indicadores importantes son:

- Tiempo de ciclo.
 - Tiempo de ciclo individual. Se refiere al tiempo que dura cada operación individual. Este tiempo puede ser dividido a su vez en elementos específicos, como tomar material, mover piezas, realizar ensambles, etc.
 - Tiempo de ciclo total. Se refiere al tiempo que duran todas las operaciones y se calcula sumando el tiempo de ciclo individual de cada operación de un proceso determinado.
- Tiempo *takt*.

El tiempo *takt* se refiere a la velocidad a la que compra el cliente y es el tiempo al que el sistema de producción debe adaptarse para satisfacer las expectativas del cliente. Se calcula dividiendo el tiempo disponible total entre la demanda.

2.1.3.2 Simbología de un VSM

La simbología del VSM sirve como un lenguaje visual estandarizado que permite representar de manera clara y concisa diferentes elementos y características de un proceso. Es un medio

efectivo para representar y comprender visualmente un proceso de producción, lo que ayuda a identificar oportunidades de mejora y a tomar decisiones para optimizar el flujo de trabajo y aumentar la eficiencia operativa. Madariaga (2013), propone la simbología mostrada en la Figura 2.1, pudiendo encontrar pequeñas diferencias entre los símbolos de los mapas de diferentes autores.

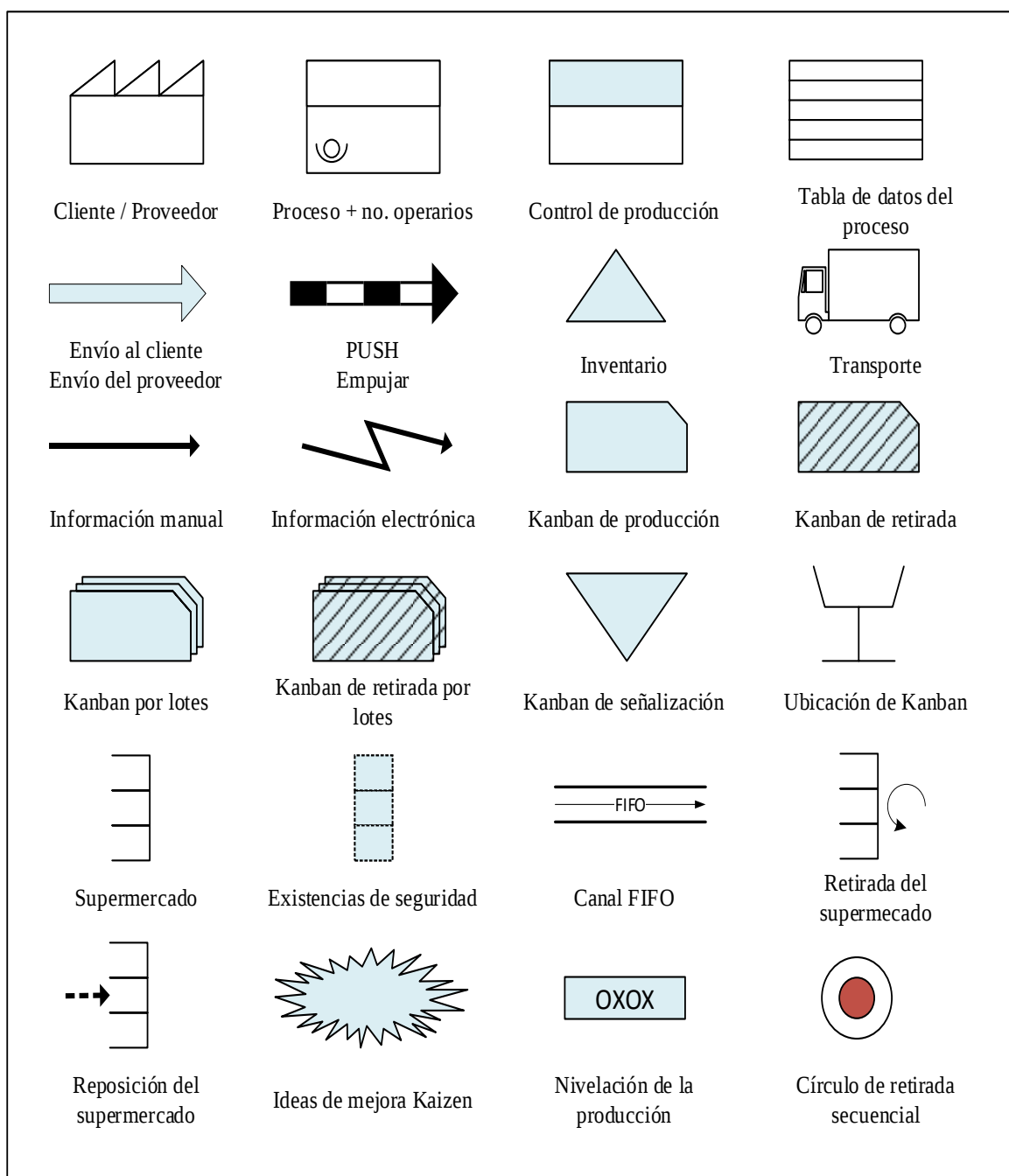


Figura 2.1 Simbología VSM (Fuente: modificado de Madariaga, 2013)

2.1.3.3 Pasos para realizar un VSM de estado presente

El mapeo de flujo de valor, es una metodología de alto nivel que requiere liderazgo desde la dirección industrial de la planta. Esta metodología se destaca como una herramienta sumamente útil para construir la visión industrial de la fábrica, permitiendo una comprensión profunda de los procesos y facilitando la identificación de oportunidades de mejora en toda la cadena de valor. De acuerdo con Madariaga (2013), la metodología para realizar un VSM es la siguiente:

1. Seleccionar una familia de productos.
2. Realizar el mapa de la situación actual.
3. Plantear ideas de mejora.
4. Realizar el mapa de situación futura.
5. Identificar los bucles *pull* en el mapa de la situación futura.
6. Confeccionar un plan de mejora de la corriente de valor.

2.1.3.4 VSM de la situación actual

El VSM de la situación actual, es una representación visual detallada y precisa del estado actual de un proceso de producción o flujo de valor en una organización. De acuerdo con Madariaga (2013), los pasos para realizar un VSM de situación actual son los siguientes:

- Ajustar el mapa al tamaño del papel.
Se debe dibujar el cliente en la parte superior derecha del papel, el proveedor en la parte superior izquierda y, entre ambos, se debe representar el control de producción de la fábrica. En la parte inferior del papel se deben dibujar los diferentes procesos ordenados consecutivamente, dejando espacio entre ellos, se finaliza dibujando el símbolo de expediciones.
- Escribir datos del cliente.
Debajo del símbolo del cliente se debe añadir una tabla de datos con la demanda diaria de la familia de productos, días laborables por semana, etc. Se debe dibujar una flecha de envío desde expediciones hacia cliente y, sobre ella, el símbolo correspondiente al medio transporte. Se debe anotar la frecuencia de los envíos y los días de salida.

- Escribir datos de los procesos.

Se debe indicar dentro de cada proceso el número de personal operativo por turno.

Debajo de cada proceso se debe añadir una tabla con los siguientes datos:

- Número de personal operativo.
- Tiempo de ciclo.
- Tiempo de cambio.
- Porcentaje de piezas defectuosas (en el caso de valores significativos).
- Lead time del proceso.

Adicionalmente, entre proceso y proceso, se deben representar los símbolos de la flecha *push* y del inventario. Junto a cada uno de ellos se debe anotar el número total de unidades en curso (*WIP*) de la familia de productos.

- Dibujar relación del proveedor.

Se debe dibujar una flecha de envío desde el proveedor hacia el inventario de materia prima. Se añadirá el símbolo correspondiente al medio transporte y, junto a él, se anotará la frecuencia de los envíos.

- Dibujar el flujo de información.

Se representarán, mediante los símbolos apropiados, los flujos de información manual y electrónica siguientes:

- El cliente y el control de producción de la fábrica (previsiones, pedidos en firme, ventana de tiempo entre el pedido y el envío, etc.).
- Control de producción y expediciones.
- Control de producción y los procesos de la fábrica.
- Control de producción y el proveedor.

- Dibujar la escala de tiempo.

Debajo de las tablas de datos de los procesos se debe dibujar la escala de tiempo. En la parte inferior de la escala, se anotará el tiempo de ciclo de cada proceso; en la parte superior de la escala se deben escribir los valores resultantes de convertir los inventarios entre procesos a *lead time*.

2.2 Lluvia de ideas

La lluvia de ideas es una técnica para la generación de ideas que busca fomentar la creatividad y la libre expresión para encontrar soluciones innovadoras a problemas o desafíos, es usada ampliamente en entornos empresariales, educativos y creativos. De acuerdo con Winter, (2000), la lluvia de ideas es una herramienta de creatividad, empleada principalmente en el trabajo de grupo, y en la que un equipo genera y clarifica una lista de ideas.

De acuerdo con Gutiérrez (2010), la lluvia de ideas es una forma de pensamiento creativo encaminada a que todos los miembros de un grupo participen libremente y aporten ideas sobre un determinado tema o problema. Esta técnica es de gran utilidad, debido a que permite la reflexión y el diálogo sobre un tema sobre una de base igualdad.

2.2.1 Reglas de la lluvia de ideas

Para lograr establecer un ambiente libre de expresión, durante una lluvia de ideas, es necesario tener en cuenta ciertas reglas para mantener el orden y fomentar la participación de todos los miembros. De acuerdo con Winter (2000), las reglas para una lluvia de ideas son las siguientes:

1. Establecer el propósito claramente.
2. Establecer turnos, formas o secuencias para llevarla a cabo.
3. Presentar en cada turno una sola idea.
4. Exponer las ideas sin criticarlas ni evaluarlas o explicarlas en ese momento.
5. Posibilitar la creación de ideas basadas en las de otros.
6. Anotar todas las ideas en un lugar visible.
7. Dar importancia a la cantidad de ideas, no a la calidad.
8. Decir “paso” si no se tienen ideas en ese momento.
9. Asegurarse una vez finalizada la sesión de que todos entienden las ideas.
10. Asociar ideas similares, si los que las propusieron están de acuerdo.
11. Establecer un límite de tiempo para llevar a cabo la actividad.

2.2.2 Pasos para realizar una lluvia de ideas

La lluvia ideas es una técnica ampliamente utilizada en diversos entornos, promoviendo un ambiente libre de expresión y creatividad sin juicios, su impacto radica en su correcta aplicación, por lo tanto, se deben seguir una serie de pasos estructurados. De acuerdo con Gutiérrez (2010), los pasos para realizar una lluvia de ideas son los siguientes:

1. Definir con claridad y precisión el tema o problema sobre el que se aportan ideas.
2. Nombrar un moderador para la sesión, quien se encargará de coordinar la participación de los demás.
3. Realizar una lista por escrito de ideas sobre el tema, esta lista debe ser realizada por cada integrante del equipo, de preferencia en una hoja de papel para su posterior lectura al resto del equipo.
4. Leer las ideas a los demás integrantes del equipo, en este paso sólo se permite el dialogo para aclarar una idea que haya señalado un participante.
5. Realizar preguntas a cada integrante, el moderador debe preguntar a cada integrante si tiene puntos adicionales con la finalidad de mejorar cada idea.
6. Agrupar las ideas o causas por similitud. Este proceso de agrupación permite clarificar y estratificar las ideas, así como tener una mejor visión de conjunto y generar nuevas opciones.
7. Realizar retroalimentación. Se debe realizar una discusión abierta y respetuosa dirigida a centrar la atención en las causas principales, con la finalidad de no pasar por alto ningún elemento o idea.
8. Elegir las ideas más importantes. Este paso se puede realizar por datos, consenso o votación, el método debe ser elegido con criterio propio, con la finalidad de seleccionar las ideas más relevantes.
9. Realizar seguimiento. Si la sesión está encaminada a resolver un problema, se debe procurar que las futuras reuniones se lleguen a las acciones concretas que se tienen que realizar para resolver el problema.

2.3 Entrevista

De acuerdo con Díaz et al. (2013), la entrevista es una técnica sumamente útil para la recolección de datos, definida como un instrumento técnico que adopta la forma de un diálogo coloquial. En comparación con el cuestionario, la entrevista es más eficaz ya que permite obtener información completa y profunda. Además, brinda la posibilidad de aclarar dudas durante el proceso, asegurando respuestas útiles y precisas.

De acuerdo con Murillo (2018), la entrevista es una técnica mediante la cual el investigador busca obtener información de forma oral y personalizada. Esta información abarca acontecimientos vividos y aspectos subjetivos de la persona, como creencias, actitudes, opiniones y valores, en relación la situación que se está estudiando.

2.3.1 Tipos de entrevista

La entrevista es una herramienta valiosa en la investigación y recolección de datos, debido a su capacidad para obtener información detallada, precisa y contextualizada, adaptándose a las necesidades del proceso investigativo. De acuerdo con Díaz et al. (2013), existen tres tipos de entrevista:

- Entrevista estructurada o enfocada. En este tipo de entrevista las preguntas se establecen con anticipación y se sigue un orden determinado, con un conjunto de categorías u opciones para que el entrevistado elija. Su aplicación es rígida para todos los sujetos del estudio. Su ventaja principal es la sistematización, lo que facilita la clasificación y análisis, además de presentar una alta objetividad y confiabilidad.
- Entrevista semiestructurada. Este tipo de entrevista presenta un mayor grado de flexibilidad que las estructuradas, ya que parte de preguntas planeadas que pueden ajustarse a los entrevistados. Su ventaja es la posibilidad de adaptarse a los sujetos, con amplias posibilidades para aclarar términos e identificar ambigüedades.
- Entrevista no estructurada. Este tipo de entrevista es más informal y flexible, permitiendo que las preguntas pueden adaptarse tanto a los sujetos como a las condiciones. Los sujetos tienen libertad de ir más allá de las preguntas iniciales y pueden desviarse del plan original.

2.3.2 Fases de la entrevista

La entrevista es crucial en la investigación y recolección de datos debido a su capacidad para obtener información detallada, precisa y contextualizada, si bien cada tipo de entrevista tiene su peculiaridad, al momento de su desarrollo se presentan determinados momentos homogéneos que se dividen en cuatro fases. De acuerdo con Díaz et al. (2013), estas fases son las siguientes (Figura 2.2):

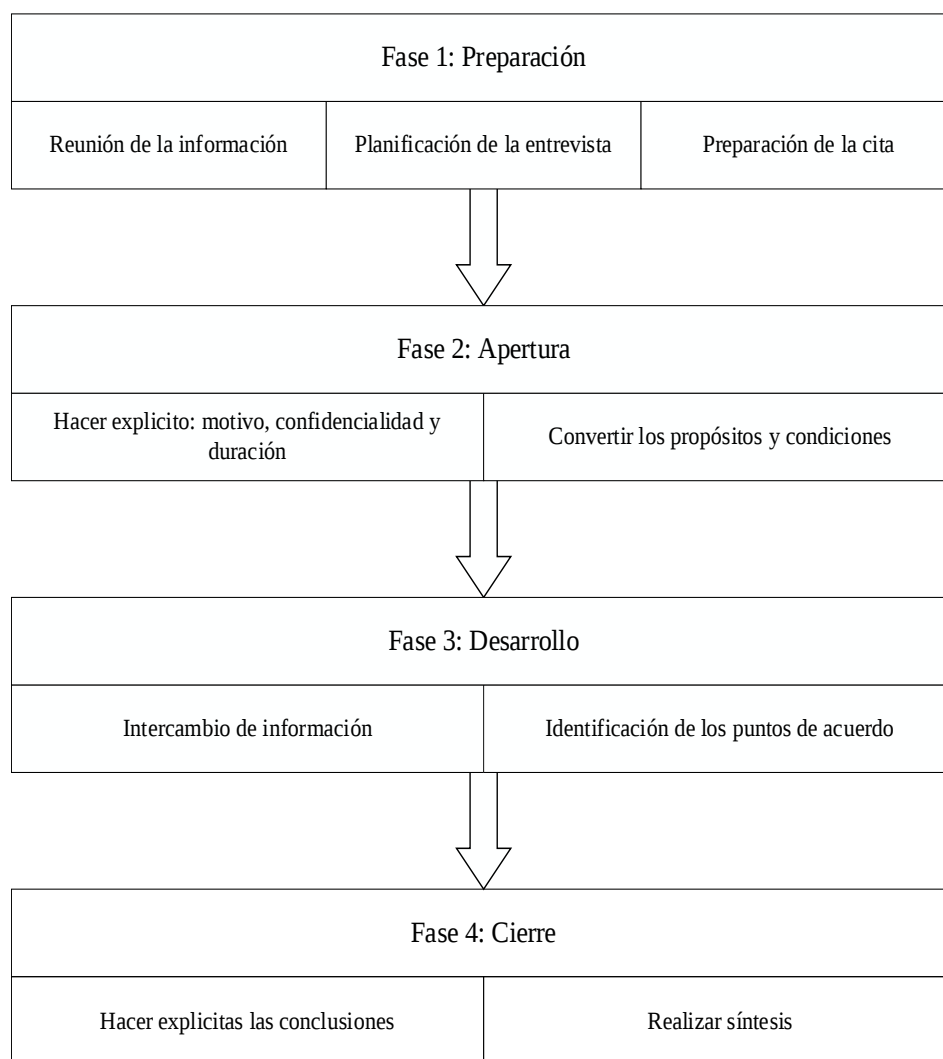


Figura 2.2 Fases de la entrevista (Fuente: modificado de Díaz et al. 2013).

2.3.3 Ventajas de la entrevista

La entrevista permite obtener información detallada y profunda, aclarar dudas en tiempo real y adaptarse a la dirección que tome la conversación, al mismo tiempo, esta herramienta posee una serie de ventajas, de acuerdo con Díaz et al. (2013), algunas ventajas de la entrevista son las siguientes:

- Posee un amplio espectro de aplicación. Es posible averiguar hechos no observables: significados, motivos, puntos de vista, opiniones, insinuaciones, valoraciones, emociones, etc.
- No se somete a limitaciones espacio-temporales. Es posible preguntar por hechos pasados y también por situaciones planeadas para el futuro.
- Permite centrar el tema. Permite orientarse hacia un objetivo determinado o centrar las preguntas en un tema en específico.
- Posee observación propia y ajena. Permite averiguar información propia (opiniones, motivos, motivaciones del comportamiento, etc.) como observaciones realizadas referentes a un suceso o a otra persona.

2.4 Método por puntos

El método por puntos es una técnica utilizada para seleccionar proyectos o ideas, basada en la asignación de valores cuantitativos a una serie de factores relevantes. Estos factores son identificados y ponderados por los miembros del equipo de trabajo.

De acuerdo con Baca Urbina (2013), el método por puntos permite ponderar los factores de preferencia del investigador al tomar decisiones. La correcta aplicación de este método asegura una selección no arbitraria, lo que facilita un mejor desarrollo del proyecto o idea, alineándose con los objetivos deseados.

2.4.1 Pasos para la aplicación del método por puntos

Para lograr una correcta aplicación del método por puntos, es importante seguir una serie de pasos durante su desarrollo. De acuerdo con Baca Urbina (2013), para realizar una correcta aplicación de esta técnica, se deben realizar los pasos siguientes:

1. Conformar un equipo de trabajo. Se recomienda reunir a un grupo de personas con conocimientos y experiencia relevantes para el proyecto o idea en cuestión.
2. Determinar una lista de factores relevantes. Identificar y acordar los factores clave que son importantes para el éxito del proyecto o idea. Estos factores deben estar directamente relacionados con los objetivos y criterios principales del tema que se está evaluando.
3. Asignar un peso o valor a los factores determinados. Establecer la importancia relativa de cada factor mediante la asignación de un peso específico. Este peso refleja cuánto influye cada factor en la decisión final. La suma total de los pesos debe ser 100, asegurando que se tengan en cuenta la importancia proporcional de cada factor.
4. Determinar una escala para evaluar las posibles opciones disponibles. Crear una escala de evaluación que puede ser numérica (por ejemplo, de 1 a 5) o alfabética (por ejemplo, las vocales de A a U), dependiendo del criterio del investigador o del equipo de trabajo. Esta escala servirá para calificar cada opción en función de los factores determinados.
5. Calificar cada una de las opciones que se están evaluando. Utilizar la escala determinada para asignar una calificación a cada opción en relación con cada factor. Esta calificación debe reflejar cómo se desempeña cada opción respecto al factor evaluado.
6. Calcular el producto de las calificaciones asignadas a cada opción por el peso de cada factor. Multiplicar la calificación de cada opción por el peso asignado a cada factor. Este paso permite ponderar las calificaciones de acuerdo con la importancia relativa de cada factor.
7. Realizar la sumatoria de cada una de las opciones. Sumar los productos obtenidos en el paso anterior para cada opción. Esta sumatoria proporciona una puntuación total ponderada para cada opción evaluada.

8. Seleccionar la opción con mayor puntuación. Comparar las puntuaciones totales de todas las opciones y seleccionar aquella que tenga la puntuación más alta. Esta opción se considera la más adecuada según los criterios y factores establecidos.

2.4.2 Ventajas del método por puntos

El método por puntos se destaca como una de las mejores técnicas para la toma de decisiones debido a su versatilidad y facilidad de aplicación. Este enfoque permite evaluar y comparar diferentes proyectos o alternativas de manera objetiva y estructurada, asignando puntuaciones a diversos criterios relevantes. De acuerdo con Baca Urbina (2013), las ventajas del método por puntos son las siguientes:

1. Simplicidad. Es un método fácil de entender y aplicar, que no requiere de cálculos complejos ni de un conocimiento profundo en técnicas financieras avanzadas.
2. Comparabilidad. Permite comparar proyectos que pueden tener diferentes características o magnitudes, al usar una escala de puntos, se pueden normalizar y evaluar diferentes aspectos de cada proyecto en una forma estandarizada.
3. Integralidad. Considera múltiples factores y criterios de evaluación, lo que permite tener una visión más completa del proyecto. Factores económicos, sociales, técnicos y ambientales pueden ser incluidos en la evaluación.
4. Flexibilidad. Se puede adaptar a diferentes contextos y tipos de proyectos, los criterios y el peso asignado a cada uno de ellos pueden ajustarse según las necesidades y prioridades específicas de cada organización.
5. Facilita la toma de decisiones. Al asignar una puntuación a cada proyecto, es más fácil identificar cuáles son los proyectos más prometedores y justificar las decisiones de inversión o implementación.
6. Enfoque cualitativo. Permite incorporar evaluaciones cualitativas en la toma de decisiones, lo cual es útil cuando no se dispone de datos cuantitativos precisos o cuando se desea considerar aspectos subjetivos como la percepción de los beneficiarios o la alineación con los objetivos estratégicos.

2.5 Trabajo estandarizado

El trabajo estandarizado, de acuerdo con Crespo (2017), se define como un proceso dinámico mediante el cual se documenta el trabajo, y se estandariza utilizando terminología, principios y métodos, con el objetivo de establecer que un proceso sea estable y predecible.

De acuerdo con Arellano (2020), el trabajo estandarizado permite establecer y documentar procedimientos referentes a la realización de tareas o actividades específicas dentro de las empresas, dichas actividades pueden ser de producción, administrativas o de prestación de servicios.

De acuerdo con Alvear (2016), la estandarización de los procesos es crucial dentro de la mejora continua, dado a que su objetivo principal es disminuir la variabilidad de los procesos mediante la implementación de documentos y capacitación de los colaboradores.

2.5.1 Metodología

De acuerdo con Arellano (2020), la metodología utilizada, comúnmente, para la estandarización del trabajo es la siguiente:

1. Seleccionar el proceso. Se debe seleccionar un proceso para realizar la estandarización de su procedimiento, comúnmente se recomienda seleccionar el proceso más lento, también conocido como cuello de botella.
2. Realizar estudio de tiempos. Se deben realizar mediciones pertinentes a todas las actividades correspondientes al procedimiento del proceso seleccionado. Obteniendo con ello el tiempo ciclo, y un panorama general de cuando empieza y termina dicho proceso.
3. Calcular capacidad del proceso. Se recomienda calcular la capacidad del proceso, con base en el tiempo ciclo, cada fase del proceso y el tiempo que conlleva el cambiar de secuencia.
4. Balancear la línea. El balanceo de la línea únicamente se realiza si es necesario, o bien, si así se desea, pero no es necesario para tener éxito en la estandarización del trabajo.

5. Realizar hojas de trabajo estandarizado. Se deben determinar las actividades de cada proceso, así como los datos más relevantes a éste, con el objetivo de plasmarlos en las hojas, y que se tenga fácil acceso a esta información.
6. Poner en práctica la mejora continua. Es necesario que, una vez realizada la estandarización del trabajo en un proceso, se continúe con otro proceso y así sucesivamente hasta garantizar el establecimiento del trabajo estandarizado en todos los procesos.

2.5.2 Elementos del trabajo estandarizado

De acuerdo con Buitrón (2008), la estandarización del trabajo se basa en los siguientes cuatro elementos básicos:

1. Detección de los desperdicios. A través de la observación de los procesos se identifican actividades que no aportan valor, como tiempos de espera, movimientos innecesarios o defectos, para luego eliminarlos y optimizar los recursos.
2. Identificación de los elementos del trabajo. Mediante la observación se identifican los recursos, herramientas y tareas involucradas en el proceso de trabajo, lo que permite optimizar la asignación de recursos y mejorar la eficiencia.
3. Análisis del *Takt time*. Se analiza el tiempo necesario para producir un artículo según la demanda del cliente, para ajustar los procesos y asegurar que la producción esté alineada con las necesidades del mercado.
4. Identificación de las herramientas de trabajo estandarizado. Se definen y aplican herramientas y procedimientos uniformes para cada operario y proceso, asegurando consistencia y mejorando la eficiencia en las tareas realizadas.

2.5.3 Beneficios del trabajo estandarizado

De acuerdo con Buitrón (2008), los beneficios que aporta el trabajo estandarizado son los siguientes:

1. Preserva conocimiento y experiencia. La estandarización de los procesos permite conservar, dentro de las empresas, los procedimientos más eficientes planteados por sus colaboradores más ágiles.
2. Permite medir el desempeño. La estandarización permite realizar comparativas entre el estándar definido y el desempeño de los trabajadores, permitiendo realizar un análisis de manera más rápida.
3. Evita desperdicios y accidentes. El trabajo estandarizado permite tener control sobre los procedimientos, además éste orienta y guía a los trabajadores durante la realización de sus actividades.
4. Permite la auditoria o el diagnóstico. Teniendo establecido un estándar, se pueden realizar verificaciones referentes a sí efectivamente se están ejecutando los procedimientos de la manera correcta.
5. Establece la base para la mejora continua. Desde el punto de vista de *Kaizen*, el trabajo estandarizado permite saber cuándo ocurren desviaciones de los estándares, y también conocer el progreso de las mejoras perseguidas.

2.6 Las 5S

Las 5S son, de acuerdo con Herrera (2017), un pilar de la mejora continua para muchas organizaciones, porque garantiza el orden y control, así misma mejora significativamente la eficiencia e incrementa las medidas de seguridad de quien las implementa.

De acuerdo con Velasco & Acosta (2021), las 5S son una herramienta de cambio y representa cinco acciones: clasificar, ordenar, limpiar, estandarizar y la disciplina; que pueden aplicarse en cualquier tipo de organización, ya sea de producción, servicios o educativos.

Menacho (2017), define las 5S como un desarrollo estructurado por cinco pasos, donde se designan los recursos, se adecua la educación de la organización y se tienen en cuenta los aspectos humanos, asimismo, esta metodología mejora significativamente el área en la que se aplique.

2.6.1 Significado de las 5S

De acuerdo con López (2013), el significado de las 5S es el siguiente:

1. *Seiri* (Clasificar). Consiste en clasificar los elementos necesarios en los procesos y desechar aquellos que no lo son.
2. *Seiton* (Orden). Implica definir un orden adecuado para cada elemento que compone un proceso. Esta S es fundamental para garantizar que no se presenten retrasos en la búsqueda de los elementos.
3. *Seiso* (Limpieza). Se basa en identificar las fuentes de suciedad e identificar la manera más optima de eliminarlas, para ello se realizan actividades de limpieza profunda, buscando incrementar la vida útil de los equipos.
4. *Seiketsu* (Estandarizar). Consiste en estandarizar todo y dejar visibles los estándares implementados, para esto se puede utilizar evidencia visual acerca de como se deben mantener las áreas, los equipos y las herramientas.
5. *Shitsuke* (Disciplina). Consiste en promover la cultura de respeto, sobre los estándares que la empresa ha establecido, entre todos sus colaboradores, con el objetivo de que las mejoras logradas perduren a lo largo del tiempo.

2.6.2 *Seiri* (clasificar)

Según Menacho (2017), *Seire* es un proceso de identificación y eliminación de elementos que son perjudiciales para la empresa, ya que dificultan o impiden la correcta ejecución de las tareas asignadas. La presencia de elementos innecesarios o inservibles genera molestias, retrasos en la producción y afecta negativamente el ambiente de trabajo.

Por otro lado, Aspiros, (2023), que *Seire* consiste en eliminar todos los elementos innecesarios que no contribuyen a la tarea y que dificultan el progreso del trabajo. Estos pueden incluir inventarios excesivos, objetos obsoletos, herramientas inútiles o aquellas que no están ubicadas en el lugar adecuado.

2.6.3 Seiton (orden)

De acuerdo con Menacho (2017), *Seiton* consiste en mantener el área de trabajo libre de elementos innecesarios. En la empresa se debe contar únicamente con herramientas que sean útiles para las actividades, priorizando aquellos elementos según su frecuencia de uso. Por ejemplo, las herramientas de uso diario deben estar a mano, mientras que las que se utilizan con menos frecuencia deben colocarse en lugares más alejados, evitando que interfieran o generen confusión durante el trabajo.

Por su parte Aspiros, (2023), dice *Seiton* se define como reducir el tiempo necesario para localizar los elementos, facilitando el movimiento de los artículos. Además, implica mantener todo de manera organizada y visualmente claro, utilizando etiquetas, señalización y cintas adhesivas en el área de trabajo.

2.6.4 Seiso (limpieza)

Según Menacho (2017), *Seiso* significa que el ambiente de trabajo debe estar en condiciones óptimas para facilitar la realización eficiente de las tareas asignadas. Para cumplir con este pilar, es necesario realizar un control constante de la limpieza. En caso de identificar deficiencias, se deben tomar las acciones correctivas correspondientes. Además, este proceso ayuda a detectar anomalías o averías, permitiendo una pronta intervención para solucionarlas.

De acuerdo con Aspiros, (2023), *Seiso* se refiere a asegurar que el espacio de trabajo esté limpio y ordenado. Si se encuentra suciedad o si se verifica que esto ocurre con frecuencia, se debe investigar y llegar a la causa raíz del problema. Además, implica mantener los objetos en el mismo estado en que fueron encontrados antes de comenzar el proceso.

2.6.5 Seiketsu (estandarizar)

Herrera (2017), menciona que una vez que los miembros de la empresa han adoptado los tres primeros hábitos y demostrado su eficiencia, se establecen normas para asegurar la correcta ejecución de las tareas mediante la aplicación de *Seiketsu*. Estas normas definen cómo realizar las actividades de manera adecuada. Por ejemplo, al finalizar la jornada laboral, las

herramientas utilizadas deben guardarse en su lugar original. Estas acciones deben convertirse en una regla obligatoria para todos los empleados de la empresa.

Mientras que Velasco & Acosta (2021), mencionan que *Seiketsu* se refiere a establecer un acuerdo común entre todos los involucrados sobre la estandarización, de manera que siempre se pueda regresar al punto de partida cuando sea necesario. Esto permite verificar si el procedimiento sigue siendo el adecuado o si se desea implementar un nuevo patrón, asegurando un progreso continuo.

2.6.6 Shitsuke (disciplina)

De acuerdo con Aspiros (2023), las normas establecidas, ya sean internas o grupales, deben ser cumplidas por todos los miembros. Para lograrlo, cada persona debe comenzar a actuar como un modelo a seguir, influyendo positivamente en los demás. Lo más importante en un equipo de trabajo es que todos estén comprometidos con mejorar sus acciones y adaptarse a los cambios.

Por otro lado, López (2013), define *Shitsuke* como el proceso de fomentar una costumbre de seguir y mantener las primeras cuatro S. Implica que todos los involucrados desarrollen la práctica de reducir, ordenar, limpiar y estandarizar el entorno laboral. El objetivo es lograr que todos los colaboradores se comprometan y se enfoquen en la aplicación continua de las 5S para mantener un ambiente de trabajo eficiente y organizado.

2.6.7 Objetivos de las 5S

Según Herrera (2017) los objetivos principales de las 5S son los siguientes:

- Incrementar la productividad. La implementación de las 5S busca crear un entorno de trabajo más organizado y eficiente, lo que se traduce en una mayor productividad. Al eliminar el desorden, optimizar el uso del espacio y asegurar que cada herramienta y material esté en su lugar, los empleados pueden trabajar de manera más rápida y efectiva.

- Mejorar la calidad de las actividades realizadas. Las 5S promueven una cultura de disciplina y organización que impacta directamente en la calidad del trabajo. Al mantener el área de trabajo ordenada y libre de obstáculos, se facilita la identificación y corrección temprana de problemas, lo que ayuda a prevenir defectos en los productos. La estandarización de procesos y la eliminación de desorden también garantizan que los empleados cuenten con las herramientas y recursos necesarios de forma consistente, lo que contribuye a una mayor precisión y cuidado en la ejecución de las tareas.

2.6.8 Beneficios de las 5S

De acuerdo con Velasco & Acosta (2021), los beneficios de las 5S son los siguientes:

1. Mejora el ambiente de trabajo, a través de la eliminación de despilfarros producidos por el desorden, falta de limpieza, suciedad y contaminación.
2. Reduce los defectos de calidad, generados principalmente por tiempos de respuesta lentos ante anomalías en los procesos.
3. Aumenta la vida útil de los equipos, mediante la inspección continua y permanente de quienes adoptan las 5S como parte de su rutina.
4. Mantiene el orden, a través del uso de elementos de control visual como tarjetas y contenedores, busca mantener una armonía entre todos los elementos dentro de las estaciones de trabajo.
5. Proporciona seguridad, mediante la conservación de los equipos y demás recursos, evitando así situaciones que pongan en riesgo al personal que los maneja.
6. Promueve la mejora continua, a cada uno de los participantes, a través de la estandarización y la disciplina, buscando la participación de todos los colaboradores dentro de una organización.

2.7 SMED

SMED (Single-Minute Exchange of Die) es una metodología de mejora de procesos enfocada en la reducción de tiempos de cambio o *setup* en la producción (Salazar, 2010). Fue desarrollado por Shigeo Shingo en la década de 1950 como parte del sistema de producción

de Toyota y es uno de los pilares fundamentales del enfoque de mejora continua y eficiencia en la manufactura (Cuc-Cab, 2005).

De acuerdo con Arias (2021), el término *Single-Minute* hace referencia a la meta de reducir el tiempo de cambio a menos de 10 minutos (menos de un solo dígito en minutos). *SMED* no sólo abarca la reducción de tiempo de cambio de herramientas o matrices, sino que se centra también en optimizar cualquier tipo de cambio o ajuste necesario para continuar con la producción sin grandes paradas, asegurando mayor flexibilidad y eficiencia en el proceso productivo (Salazar, 2010).

2.7.1 Objetivos de *SMED*

De acuerdo con Castaño & Hincapié (2014), los objetivos de *SMED* son los siguientes:

- Reducción de los tiempos de *setup*: el objetivo principal de *SMED* es reducir el tiempo que se emplea para cambiar de una producción a otra. Esto es crucial para mejorar la flexibilidad de la planta, aumentar la capacidad de respuesta a la demanda y reducir el tiempo de inactividad.
- Incremento de la productividad: al reducir el tiempo de *setup*, se aumenta la cantidad de tiempo en el que la máquina o el equipo está produciendo.
- Mejora en la eficiencia de los recursos: con menos tiempo de inactividad, los recursos (humanos, materiales y maquinaria) se aprovechan mejor.
- Facilitar la producción en lotes pequeños: con tiempos de cambio más rápidos, las empresas pueden producir lotes más pequeños sin penalizar la eficiencia, lo que es ideal para sistemas de producción más ágiles y flexibles.

2.7.2 Fases de *SMED*

El proceso *SMED* consta de varios pasos para lograr la reducción de tiempos de *setup*. Según Guerra (2018), estos pasos pueden desglosarse en:

- a) Análisis y observación del proceso actual.

Antes de aplicar cualquier mejora, es necesario analizar y documentar los tiempos de *setup* actuales. Durante esta fase se identifican los pasos específicos que involucran el cambio de producción, los tiempos asociados y las oportunidades para la mejora.

b) Separación de actividades internas y externas.

El concepto clave de *SMED* es la diferenciación entre actividades internas y externas:

- Actividades internas: Aquellas que sólo se pueden realizar cuando la máquina está detenida.
- Actividades externas: Aquellas que se pueden realizar mientras la máquina está en funcionamiento.

El objetivo es convertir tantas actividades internas como sea posible en externas, de manera que se puedan realizar antes de que la máquina se detenga o después de que vuelva a estar en operación.

c) Conversión de actividades internas en externas.

Una vez identificadas las actividades internas y externas, el siguiente paso es encontrar maneras de realizar las actividades internas sin que la máquina esté detenida. Esto puede implicar la reorganización de herramientas, la preparación de materiales con antelación o la automatización de ciertos procesos.

d) Optimización de las actividades internas.

Las actividades internas que no se puedan convertir en externas deben optimizarse al máximo. Esto puede incluir la mejora de las herramientas, el uso de equipos de cambio rápido o la simplificación de las tareas mediante mejores prácticas.

e) Implementación de mejoras y ajustes

Una vez que se han realizado todos los ajustes, se implementan las mejoras necesarias para reducir el tiempo de *setup*. Es esencial que estas mejoras sean sustentadas a largo plazo mediante la capacitación continua de los operadores y el seguimiento constante de los tiempos de *setup*.

2.7.3 Beneficios de *SMED*

SMED ofrece varios beneficios para las empresas que lo implementan de manera efectiva; de acuerdo con Cuc-Cab (2005), éstos son los siguientes:

- Reducción de costos: la disminución de los tiempos de cambio permite una mayor utilización de las máquinas y equipos, lo que reduce costos asociados con tiempos muertos y optimiza el uso de los recursos.
- Mayor flexibilidad: las empresas pueden adaptarse rápidamente a cambios en la demanda del mercado, realizando cambios de producto de manera ágil y eficiente.
- Mayor calidad y consistencia: al estandarizar y simplificar el proceso de *setup*, se reducen las probabilidades de errores y se mejora la calidad del producto final.
- Mayor seguridad: la sistematización de las tareas y la organización del proceso de cambio de herramientas reduce el riesgo de accidentes laborales.

2.7.4 Herramientas y técnicas utilizadas en *SMED*

De acuerdo con Castaño & Hincapié (2014), algunas de las herramientas y técnicas comunes, empleadas en la metodología *SMED* incluyen:

- Estandarización de procedimientos: documentación clara de los pasos de cambio para reducir errores y tiempo perdido.
- Las 5S: organización y limpieza del área de trabajo para minimizar pérdidas de tiempo relacionadas con la búsqueda de herramientas o materiales.
- Diseño de herramientas de cambio rápido: uso de dispositivos y equipos que permitan un cambio más ágil de herramientas, como sistemas de fijación rápida o mecanismos de liberación de matrices.
- Automatización: implementación de tecnología para realizar tareas que antes eran manuales, reduciendo la intervención humana y los tiempos asociados.

2.7.5 Limitaciones y desafíos del *SMED*

A pesar de los múltiples beneficios, *SMED* también presenta desafíos. Según Arias (2021), éstos son los siguientes:

- Resistencia al cambio: en muchos casos los operarios o equipos pueden resistirse a los cambios, especialmente si se percibe que el nuevo proceso interrumpe la rutina establecida.

- Inversiones iniciales: aunque los resultados a largo plazo son positivos, la implementación de *SMED* puede requerir inversiones en herramientas, capacitación y reorganización de procesos.
- Dependencia de las características del proceso: en algunos tipos de producción o con ciertas tecnologías, la aplicabilidad de *SMED* puede ser limitada debido a la naturaleza de los equipos o productos.

2.8 Conclusión

Este capítulo estableció una base fundamental para el proyecto actual al exponer conceptos clave que abarcan desde la fase inicial de mapeo de procesos hasta la implementación de técnicas de *lean manufacturing*. Gracias a la explicación de estos conceptos, se han obtenido los cimientos necesarios para la investigación y el análisis, lo que facilitará una toma de decisiones fundamentada y eficiente.

Capítulo 3

Implementación de mejoras

En este capítulo se describe la aplicación de los pasos correspondientes a la metodología utilizada en el desarrollo del presente proyecto, con el objetivo de mejorar los indicadores que afectan la productividad en el área objeto de estudio. La metodología utilizada contempla aspectos como definir área piloto, medir y mejorar indicadores, aplicación de mejoras y control de resultados.

3.1 Metodología

La metodología desarrollada, para lograr el cumplimiento del objetivo de mejorar los indicadores que afectan la productividad de la empresa, objeto de estudio, es la descrita a continuación:

1. Definir línea de producción.
2. Medir indicadores a evaluar.
3. Analizar causas raíz de los problemas.
4. Mejorar los indicadores.
5. Medir indicadores después de la mejora.
6. Validar estadísticamente las mejoras.
7. Controlar los resultados obtenidos.

3.2 Definir línea de producción

En esta sección se describe el proceso para la definición de la línea de producción, para el desarrollo del presente proyecto, en la empresa objeto de estudio. Las actividades realizadas para lograr un diagnóstico efectivo fueron las siguientes:

1. Realizar recorridos por el área de producción de la empresa.
2. Realizar entrevista a supervisores.

3. Realizar entrevista a personal operativo.
4. Definir línea de producción para el desarrollo del proyecto.
5. Describir la línea de producción seleccionada.

3.2.1 Realizar recorridos por el área de producción de la empresa

Para conocer todos los procesos que forman parte de las operaciones de producción, de la empresa en estudio, se realizaron recorridos en sus cuatro líneas de producción. Los recorridos por la planta estuvieron guiados por los supervisores de cada una de las líneas, en dichos recorridos se realizó una descripción verbal de cada proceso, así como de los diferentes productos que se fabrican. Durante los recorridos se realizó un análisis visual de las cuatro líneas de producción, de esta manera se pudieron identificar las áreas de oportunidad que se muestran en la Tabla 3.1.

3.2.2 Realizar entrevista a supervisores

Con el objetivo de conocer a detalle las principales características de los procesos de producción de la empresa en estudio, se realizaron entrevistas personales con todos los supervisores de producción (cuatro) con la finalidad de identificar áreas de oportunidad no vistas durante los recorridos realizados.

Tabla 3.1 Áreas de oportunidad de cada línea (Fuente: elaboración propia).

Línea de producción	Áreas de oportunidad detectadas
LP 1	1. Generación de <i>scrap</i>. 2. Falta de orden en las estaciones de trabajo. 3. Paros de máquinas no programados.
LP 2	1. Generación de <i>scrap</i>. 2. Exceso de inventario entre proceso. 3. Tiempos grandes de <i>set up</i>. 4. Instrucciones de trabajo ambiguas.
LP 3	1. Defectos de acabado en el producto. 2. Mala distribución del área de trabajo. 3. Generación de <i>scrap</i>.
LP 4	1. Paros de máquinas no programados. 2. Espacio reducido para movimientos de material. 3. Generación de <i>scrap</i>.

Las entrevistas con los supervisores se realizaron en las oficinas de manufactura de la empresa, en ellas se realizó un cuestionario conformado por cuatro preguntas, con el objetivo de volver esta actividad dinámica y obtener la información relevante de manera rápida. Las preguntas realizadas fueron las siguientes:

1. ¿Qué responsabilidades tiene como supervisor de producción?
2. ¿Qué problemas son más frecuentes en la línea que supervisa?
3. ¿Qué procesos de la línea son los más tardados?
4. ¿Cuáles son las quejas más frecuentes por parte de los trabajadores?

Posterior a cada entrevista, se realizaron notas con el objetivo de realizar un resumen general de las entrevistas. El resumen de las éstas permitió identificar las siguientes áreas de oportunidad en las cuatro líneas de producción:

- Fallas en máquina por mala práctica de mantenimiento autónomo.
- Desajustes en máquinas por herramienta en mal estado.
- Tiempos excesivamente largos en ajustes y preparación de máquinas.
- Generación de *scrap* por desajustes de maquinaria y por falta de capacitación de personal.
- Falta de control e inspección de defectos en los procesos.
- Falta de herramienta para realizar los ajustes y pérdida de tiempo en ir por la herramienta.
- Exceso de inventario entre procesos ocasionando espacios más reducidos entre las áreas de trabajo.
- Baja productividad del operador generado por la fatiga y tedio de su trabajo.

3.2.3 Realizar entrevista a personal operativo

Las entrevistas con el personal operativo fueron realizadas en su estación de trabajo, con el objetivo de identificar áreas de oportunidad por proceso. Las entrevistas realizadas estuvieron conformadas por las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son las tareas que realiza en su área de trabajo?
2. ¿Cuáles son los problemas más comunes y recurrentes en su puesto?
3. ¿Cuáles son las actividades que demandan más tiempo en su puesto?

Las áreas de oportunidad detectas por proceso, a raíz de las entrevistas realizadas a personal operativo, se muestran en la Tabla 3.2 y

Tabla 3.3.

Tabla 3.2 Áreas de oportunidad en los procesos de “*prensado*” a “*flat grind*” (Fuente: elaboración propia).

Línea de producción	Proceso	Áreas de oportunidad
LP 1 LP 2 LP 3 LP 4	Prensado.	• Malformaciones en la materia prima, generando más de un ciclo en su proceso. • Cambios de troquel largos por falta de herramienta adecuada. • Falta de depósito de materia prima.
	Off-line.	• Desajuste en máquinas que a su vez ocasiona <i>scrap</i>. • Grandes tiempos de preparación de máquinas. • Paros no programados. • Falta de control e inspección de defectos en proceso.
	Crush & Broach.	• Paros no programados en máquinas. • Tediosos t grandes tiempos de cambios de piedra abrasiva. • Falta de herramienta para realizar ajustes en caso de requerirlos. • Exceso de inventario en espera.
	Tratamiento térmico.	• Defectos en la dureza de tijeras que se meten al horno en cantidades grandes. • Deformación de las forjas por no existir un acomodo previo de las mismas. • Es el proceso más tardado de todos con 3 hrs.
	Flat grind.	• Defectos en el rectificado por forjas con mal formación. • Ajustes y preparación de máquina <i>flat grind</i> excesivamente largos. • Generación de <i>scrap</i> por malos acabados en las forjas generados por desajuste de la máquina.

Tabla 3.3 Áreas de oportunidad en los procesos de “pulido” a “empaque” (Fuente: elaboración propia).

Línea de producción	Proceso	Áreas de oportunidad
LP 1 LP 2 LP 3 LP 4	Pulido.	• Trabajo tedioso y cansado por la postura al realizarlo. • Cambios de banda pulidora por desgaste. • Acumulación de material entre pulidoras. • Baja de la productividad del operador a lo largo del turno.
	Láser <i>print</i> .	• Desajuste del programa de cómputo ocasionando que el grabado no quede centrado. • No existe un depósito para materia prima por lo que hay acumulación de inventario.
	Instalación de pines.	• Trabajo tedioso por la actividad corta y repetitiva que se tiene que realizar. • <i>Scrap</i> generado por orificios menores a los pines, que descomponen la pieza. • La instalación de pines debe repetirse si no son introducidos por la máquina en el primer intento.
	Ensamble.	• Desorden en el área de trabajo. • <i>Scrap</i> generado porque las ranuras y orificios no encajan con los componentes a ensamblar. • El trabajo estandarizado es ambiguo y los operadores lo realizan de acuerdo con su criterio. • Pérdida de tiempo en ajustes para ensamblar los componentes. • Tiempo excesivo en ajustes finales y comprobación de corte o prueba de filo.
	Instalación de seguro.	• Acumulación de material de la estación previa. • Trabajo tedioso por el tamaño tan pequeño de las piezas a ensamblar.
	Instalación de grips.	• <i>Scrap</i> generado por sobrecalentamiento de los <i>grips</i>. El calentamiento ocasiona que se rompan los <i>grips</i> al ser introducidos en los mangos de las tijeras. • Acumulación de material en la estación de trabajo. • Pérdida de tiempo en ajustes por defectos del producto ocasionado por la máquina.
	Empaque.	• Defectos generados en procesos anteriores son detectados hasta este proceso. • Exceso de <i>scrap</i> generado por falta de control y calidad en el producto. • Instrucciones de trabajo ambiguas en las estaciones de trabajo.

3.2.4 Definir línea de producción para el desarrollo del proyecto

En la Tabla 3.1 se describieron áreas de oportunidad detectadas en las líneas de producción, durante los recorridos por la planta y, en las Tabla 3.2 y

Tabla 3.3, problemas que ocurren en cada uno de los procesos de estas líneas de producción

Para seleccionar una línea de producción prioritaria, para el desarrollo del presente proyecto, se realizaron las siguientes actividades:

1. Definir factores con la aplicación de una lluvia de ideas.
2. Definir línea de producción con la aplicación del método por puntos.

3.2.4.1 Definir factores con la aplicación de una lluvia de ideas

La selección de la línea de producción (LP 1, LP 2, LP 3 o LP 4), para el desarrollo del presente proyecto, se llevó a cabo mediante la aplicación del método por puntos. La definición de factores se llevó a cabo mediante la aplicación de la herramienta lluvia de ideas, en conjunto con el gerente de planta y supervisores, utilizando la siguiente metodología:

1. Definir el objetivo principal de la lluvia de ideas: definir factores para la selección de una línea de producción.
2. Designar un moderador. Se designó al gerente de planta como moderador durante la realización de la actividad.
3. Realizar una lista de los posibles factores a utilizar entre todos los integrantes del equipo de trabajo. El resultado se muestra en la Figura 3.1.
4. Realizar retroalimentación para cada uno de los factores expresados por cada integrante del equipo de trabajo, con el objetivo de mejorar los mismos.

3.2.4.2 Definir línea de producción con la aplicación del método por puntos

Para definir cuál de las líneas de producción de la empresa en estudio (Tabla 3.1), sería seleccionada como la línea de producción objetivo para el desarrollo del presente proyecto, se aplicó el método por puntos utilizando los factores obtenidos en la aplicación de la lluvia de ideas (Figura 3.1). La metodología utilizada fue la siguiente:

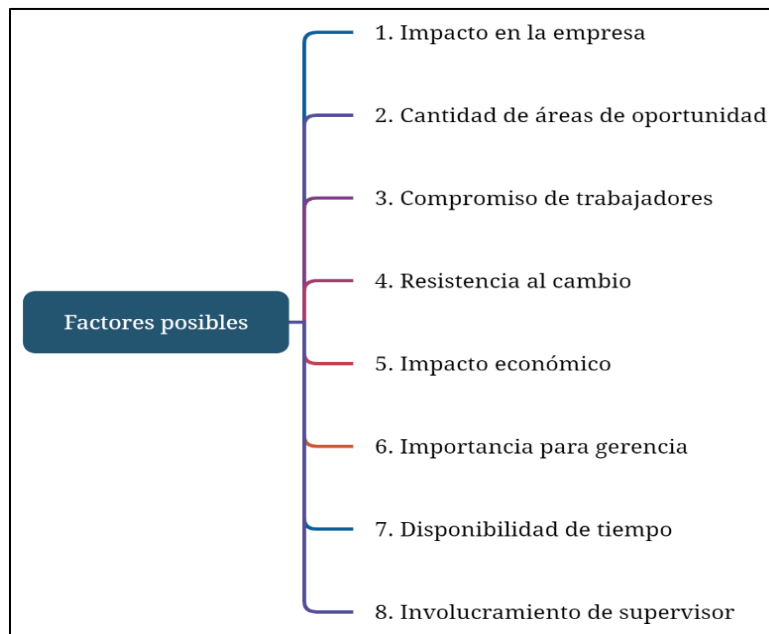


Figura 3.1 Factores para evaluación la evaluación de las líneas de producción (Fuente: elaboración propia).

1. Definir equipo de trabajo. El equipo de trabajo, para esta actividad, estuvo conformado por el gerente de planta y los supervisores de cada una de las líneas de producción que conforman el área operativa de la empresa en estudio.
2. Selección de factores prioritarios. Definidos los factores para la evaluación de las líneas de producción (Figura 3.1) se seleccionaron los factores con mayor importancia, de acuerdo con la experiencia empírica de cada uno de los integrantes del equipo de trabajo. Los factores seleccionados se muestran en la
3. Tabla 3.4.
4. Describir los factores prioritarios. La descripción de cada uno de los factores prioritarios se realizó en una junta con el equipo de trabajo, con el objetivo de obtener diferentes puntos de vista y generar una descripción única, clara y entendible para cada factor (
5. Tabla 3.4).
6. Asignar puntajes a factores. La asignación de puntajes para los factores prioritarios se realizó con el objetivo de determinar la importancia de cada uno de éstos, utilizando una escala de 0 a 100, en donde el valor de 100 representó la mayor importancia posible y el 0 la menor. El resultado se muestra en la Tabla 3.5

Tabla 3.4 Descripción de factores (Fuente: elaboración propia).

Factores prioritarios	Descripción
Cantidad de áreas de oportunidad	Número de aspectos identificados, que pueden ser mejorados para alcanzar mejores resultados.
Compromiso de trabajadores	Nivel de dedicación y conexión que tienen hacia su trabajo.
Impacto en la empresa	De qué manera las actividades de mejora influyen en la estabilidad y éxito de la empresa.
Impacto económico	Resultado monetario consecuencia de una acción, evento o decisión.
Disponibilidad de tiempo	Cantidad de tiempo disponible con el que la empresa cuenta para realizar diferentes actividades.

Tabla 3.5 Puntajes de factores (Fuente: elaboración propia).

Número	Factor prioritario	Puntaje
1	Cantidad de problemáticas.	100
2	Compromiso de trabajadores.	100
3	Impacto en la empresa.	90
4	Impacto económico.	85
5	Disponibilidad de tiempo.	80

7. Definir escala para evaluar los factores para línea de producción. La escala seleccionada para este paso se conformó por las vocales A, E, I, O, U. Donde la letra A representó la mayor puntuación posible y la letra U la menor. El resultado se muestra en la Tabla 3.6.
8. Calificar cada factor para cada línea de producción. La calificación para cada una de las líneas de producción se realizó con la escala definida preguntando en cada caso que tan bien cada una de las líneas de producción cumplían con los factores prioritario. El resultado, que se colocó en la parte superior de la celda, se muestra en la Tabla 3.7.
9. Multiplicar los puntajes de cada factor por la calificación de cada línea de producción. El resultado, que se colocó en la parte inferior de la celda, se muestra en la Tabla 3.7.

10. Sumar los puntajes finales. Se realizó la sumatoria de los puntajes obtenidos por cada línea de producción con el objetivo de identificar y seleccionar el área piloto para el desarrollo del presente proyecto. El resultado se muestra en la Tabla 3.7.

Tabla 3.6 Escala de vocales (Fuente: elaboración propia).

Vocal	Significado	Valor
A	Excelente (perfecto).	4
E	Muy bueno (considerablemente bueno).	3
I	Bueno (resultados positivos).	2
O	Mediano (porcentaje de mejora bajo).	1
U	Mediocre (mejora nula).	0
X	Imposible (no aplica o no cumple).	

Tabla 3.7 Método por puntos para la selección del área piloto (Fuente: elaboración propia).

Valoración de las líneas de producción					
Fábrica:	Empresa en estudio	Proyecto:	Selección de línea de producción		Fecha:04/04/24
Factores	Puntaje	Acotación bruta o ponderada			
		LP 1	LP 2	LP 3	LP 4
1. Número de problemáticas.	100	E 300	A 400	E 300	E 300
2. Compromiso de trabajadores.	100	E 300	A 400	A 400	E 300
3. Impacto en la empresa.	90	I 180	E 270	E 180	O 90
4. Impacto económico.	85	I 170	I 170	E 255	I 170
5. Disponibilidad de tiempo.	80	A 320	E 240	O 80	I 160
TOTALES		1,270	1,480	1,215	1,020

De acuerdo con la aplicación del método por puntos (Tabla 3.7) y con base en los puntajes obtenidos para cada una de las líneas de producción evaluadas, se determinó que el área de oportunidad ganadora es la línea de producción LP 2, con una puntuación de 1,480 puntos.

Por lo tanto, **el área piloto para el desarrollo del presente proyecto será la línea de producción LP 2.**

3.2.5 Distribución de la línea de producción LP 2

El área que conforma la línea de producción LP 2 se encuentra delimitada por líneas, de color amarillo, marcadas en el piso dentro del área de producción de la empresa en estudio; esta línea está conformada por tres células de manufactura.

En la Figura 3.2 se muestra la localización de la línea de producción LP 2 dentro del área de producción de la empresa en estudio, mientras que en la Figura 3.3 se muestra la distribución del equipo dentro del área que comprende la línea de producción. El equipo, que se muestra en la Figura 3.3 es el siguiente:

1. Prensa hidráulica: la prensa es utilizada para dar la forma correcta a las forjas y corregir la forma de aquellas que sufrieron alguna deformación en su traslado hasta la empresa.
2. *Off-line*: este equipo es usado para realizar distintos barrenos, avellanados y desbastados en las forjas (*stub* y gancho) para fabricar tijeras. La línea cuenta con tres equipos de este tipo.
3. *Crush & Broach*: este equipo, que se utiliza únicamente para el gancho de la tijera, es utilizado para rectificar el gancho y para dar forma ovalada al orificio usado para el ensamble con el *stub*.
4. *Flat grind*: este equipo es utilizado para realizar un rectificado en ambas caras del gancho y el *stub*, con el objetivo de mejorar el aspecto estético y de preparar ambas piezas para procesos siguientes.
5. Pulidora: la línea de producción LP 2 cuenta con dos pulidoras utilizadas únicamente para mejorar el aspecto estético de los mangos de las tijeras.
6. Láser *print*. Este equipo, es utilizado únicamente en el *stub*, para grabar el logo y marca de la empresa en cada una de las tijeras.

7. Mesa de trabajo. Las mesas de trabajo son utilizadas para las operaciones de ensamble, ajuste, colocación de *grips*, instalación de seguro y empaque, en ellas se realizan trabajos manuales con ayuda de herramientas semi automáticas.

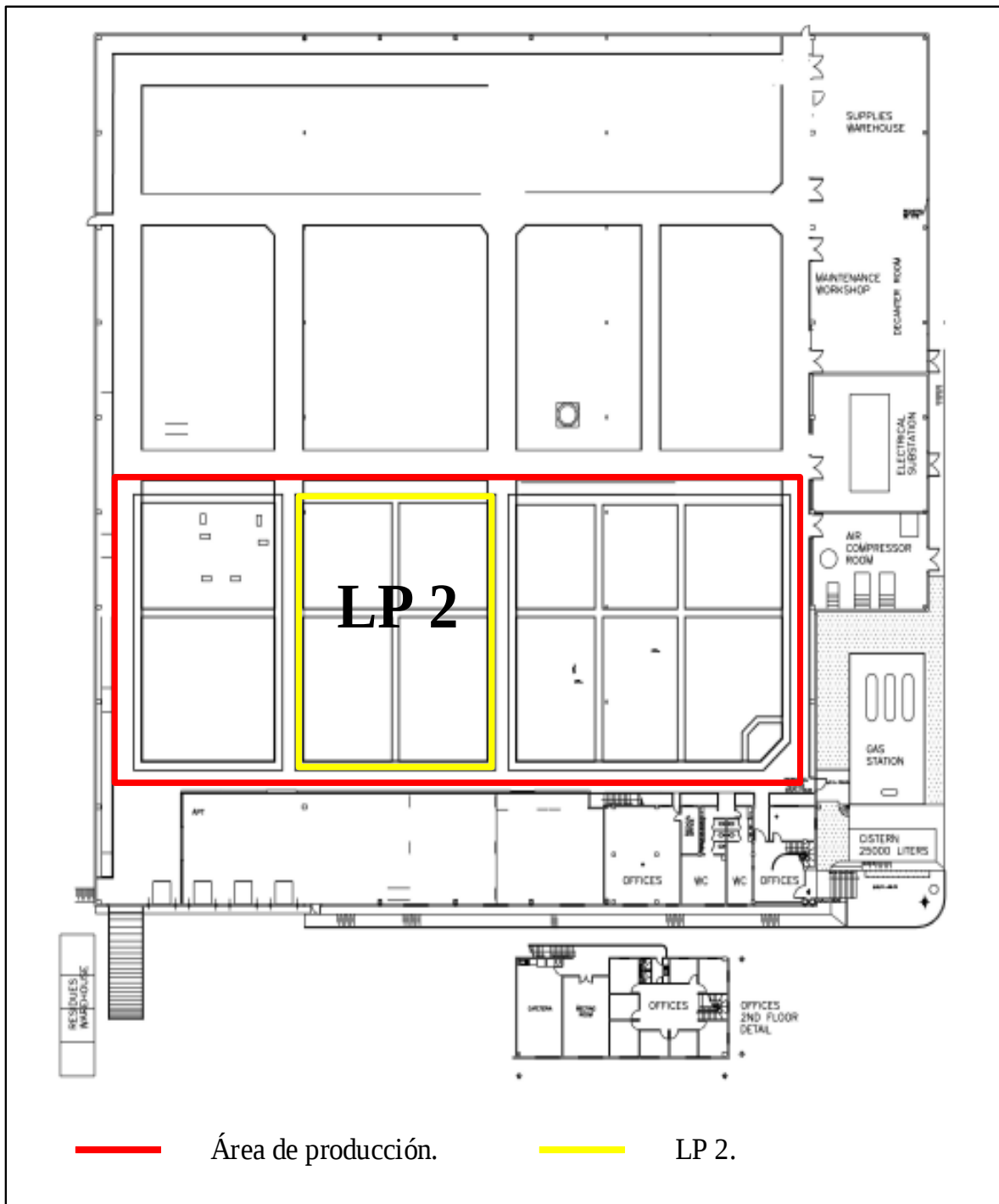


Figura 3.2 Ubicación de la línea LP 2 (Fuente: elaboración propia)

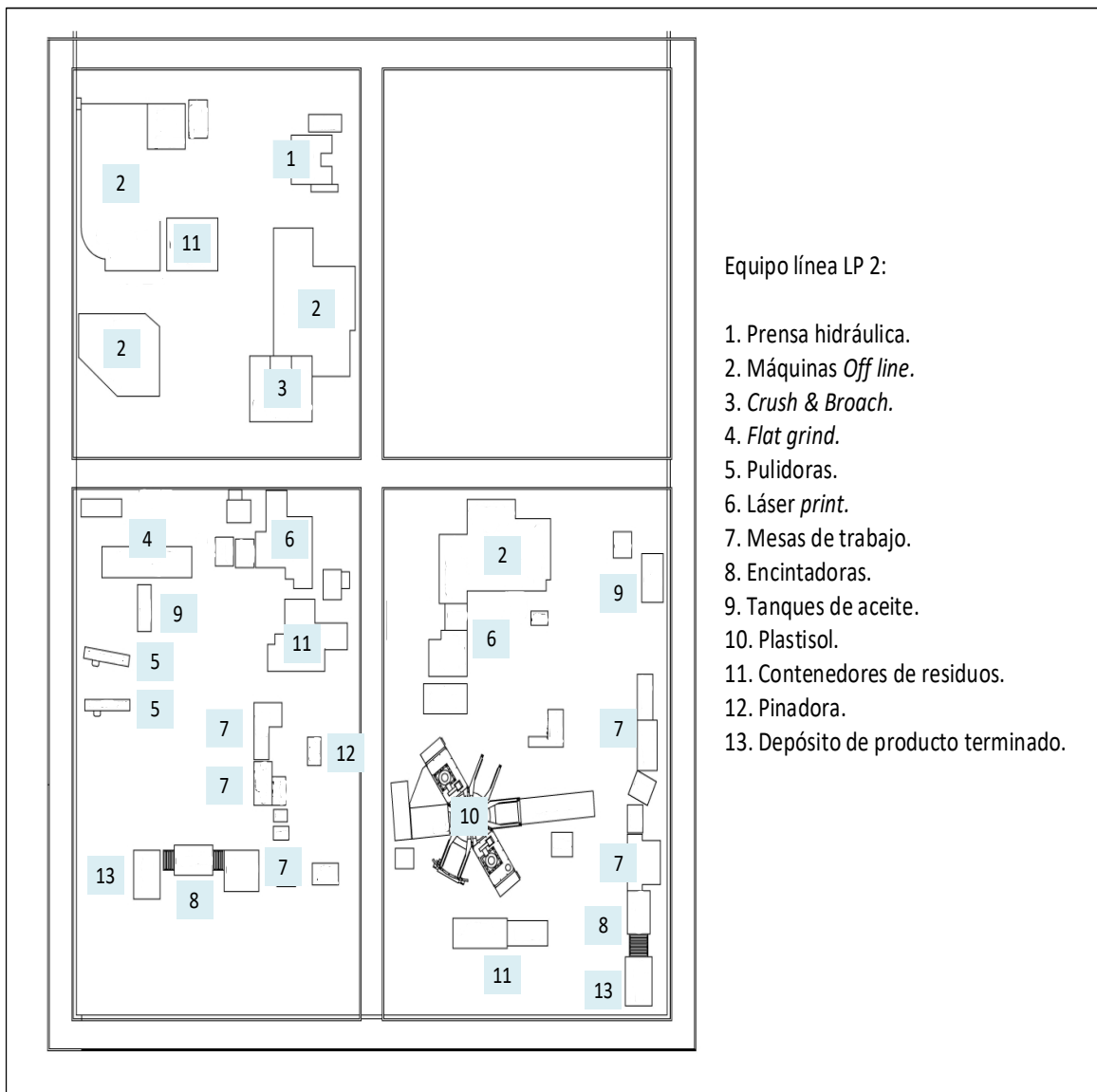


Figura 3.3 Distribución de la línea LP 2 (Fuente: elaboración propia).

8. Encintadora. Este equipo es utilizado para sellar los empaques de cartón, con producto terminado, por medio de un sistema semiautomático de bandas y de sellado, utilizando cinta adhesiva.
9. Tanque de aceite. Este equipo es utilizado para bañar las forjas en aceite antioxidante, con la finalidad de alargar la vida útil del producto.
10. Plastisol. Este equipo, se utiliza para colocar los mangos de las tijeras mediante un proceso químico, está compuesto por un horno, un enfriador y un transportador.

11. Contenedor de residuos. Estos contenedores son utilizados para depositar los residuos generados por los procesos que conforman la línea de producción.
12. Pinadora. Este equipo coloca pines únicamente al *stub*, mediante un mecanismo de presión, los cuales servirán para el ensamble final de la tijera.
13. Depósito de producto terminado. Este depósito es el encargado de almacenar el producto terminado empaquetado, antes de ser trasladado al almacén de producto terminado.

3.2.6 Diagrama SIPOC de la línea de producción LP 2

Con el objetivo de identificar cada uno de los elementos claves de la línea LP 2 y obtener un panorama más claro del funcionamiento de ésta, se realizó un diagrama SIPOC utilizando la siguiente metodología:

1. Identificar a los proveedores (S).
2. Definir las entradas del proceso (I).
3. Graficar el proceso en un diagrama de flujo (P).
4. Definir las salidas del proceso (O).
5. Identificar a los clientes (C).
6. Construir diagrama SIPOC.

3.2.6.1 Identificar categorías de proveedores (S)

La identificación de las categorías de proveedores se realizó a través del departamento de compras de la empresa, obteniendo así la información de tres principales categorías de sus proveedores, de los que obtienen materia prima, herramientas de trabajo y accesorios necesarios para que línea de producción LP 2 opere con normalidad. Estas categorías de proveedores son las siguientes:

- Proveedor de materia prima.
- Proveedor de herramientas de trabajo.
- Proveedor de accesorios.

3.2.6.2 Definir las entradas del proceso (I)

Para la definición de las entradas del proceso de la línea de producción LP 2 se realizaron pláticas con el supervisor de ésta, obteniendo así la información necesaria. Las entradas que se identificaron son las siguientes:

- **Materia prima.** La materia prima con la que trabaja la línea de producción LP 2 son forjas de metal, que son tratadas y modificadas a lo largo del proceso, hasta convertirse en tijeras para corte, poda y agricultura.
- **Herramientas de corte.** Las herramientas de corte son los cortadores que usan las máquinas de distintos procesos, para realizar modificaciones sobre las forjas utilizadas para su ensamble final.
- **Herramientas de mantenimiento.** Son todas aquellas herramientas utilizadas para mantener el correcto funcionamiento de las máquinas de la línea, y de evitar fallos en las mismas.
- **Accesorios para ensamble.** Los accesorios son hojas de corte y pines, que son utilizados en el ensamble de la tijera, estos accesorios son obtenidos a través de un proveedor externo.

3.2.6.3 Graficar el proceso en un diagrama de flujo (P)

Cada uno de los elementos que conforman el proceso de producción de la línea de producción LP 2 se describen a continuación, los mismos pueden observarse de manera gráfica en el diagrama de flujo de la Figura 3.4.

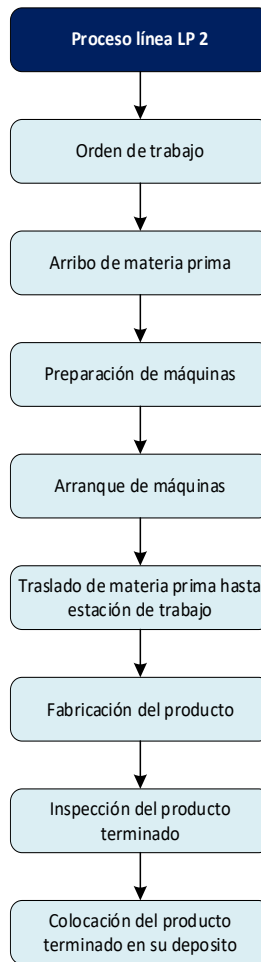


Figura 3.4 Diagrama de flujo del proceso de la línea LP 2 (Fuente: elaboración propia).

- Orden de trabajo. Se recibe la orden de trabajo por parte del supervisor de la línea, donde indica que producto se realizará, así como las especificaciones del mismo.
- Arribo de materia prima. Se lleva la materia prima hasta la línea de producción LP 2 para que el personal operativo pueda trabajar.
- Preparación de máquinas. Se realizan los ajustes necesarios, así como cambios de herramienta para que las máquinas puedan trabajar durante el turno laboral.
- Arranque de máquinas. Se ponen en marcha las máquinas de cada estación de trabajo, por medio del personal operativo de cada una.
- Traslado de materia prima hasta estación de trabajo. Cada operador es el encargado de llevar la materia prima a su estación de trabajo antes de comenzar a producir.

- Fabricación del producto. Realizado lo anterior, se realiza la fabricación del producto de acuerdo a la orden de trabajo y a las especificaciones dadas.
- Inspección del producto terminado. Se realiza una inspección de calidad, con el objetivo de detectar producto defectuoso o que simplemente no se ajuste a los estándares de calidad de la empresa.
- Colocación del producto terminado en su depósito. El producto terminado autorizado es colocado en un depósito especial, antes de ser trasladado al almacén.

3.2.6.4 Definir salidas del proceso (O)

Las salidas del proceso, de acuerdo con el supervisor de la línea, abarcan una variedad de elementos críticos que garantizan la calidad y eficiencia del producto final. Éstas son las siguientes:

- Tijeras de corte para poda. Son herramientas de corte diseñadas específicamente para recortar y dar forma a plantas, arbustos y árboles.
- Tijeras de corte para jardinería. Son herramientas de corte utilizadas para cortar flores, tallos, ramas pequeñas y realizar trabajos delicados en el jardín.
- Tijeras de corte para agricultura. Son herramientas de corte diseñadas para podar árboles frutales, cosechar frutas o verduras y cortar ramas gruesas.

3.2.6.5 Identificar a los clientes (C)

La empresa en estudio se dedica exclusivamente a la producción bajo contrato para un cliente único debido a su naturaleza como maquiladora. En consecuencia, el producto final de la línea LP 2 está destinado exclusivamente para Estados Unidos, lo que enfatiza la importancia de mantener una relación sólida y satisfactoria con este cliente clave.

3.2.6.6 Construir diagrama SIPOC

Después de haber identificado todos los elementos necesarios para el diagrama SIPOC, de la línea de producción LP 2, se procedió a su creación con el objetivo de visualizar de manera sistemática y detallada todos los pasos y recursos involucrados en el proceso. El resultado se muestra en la Figura 3.5.

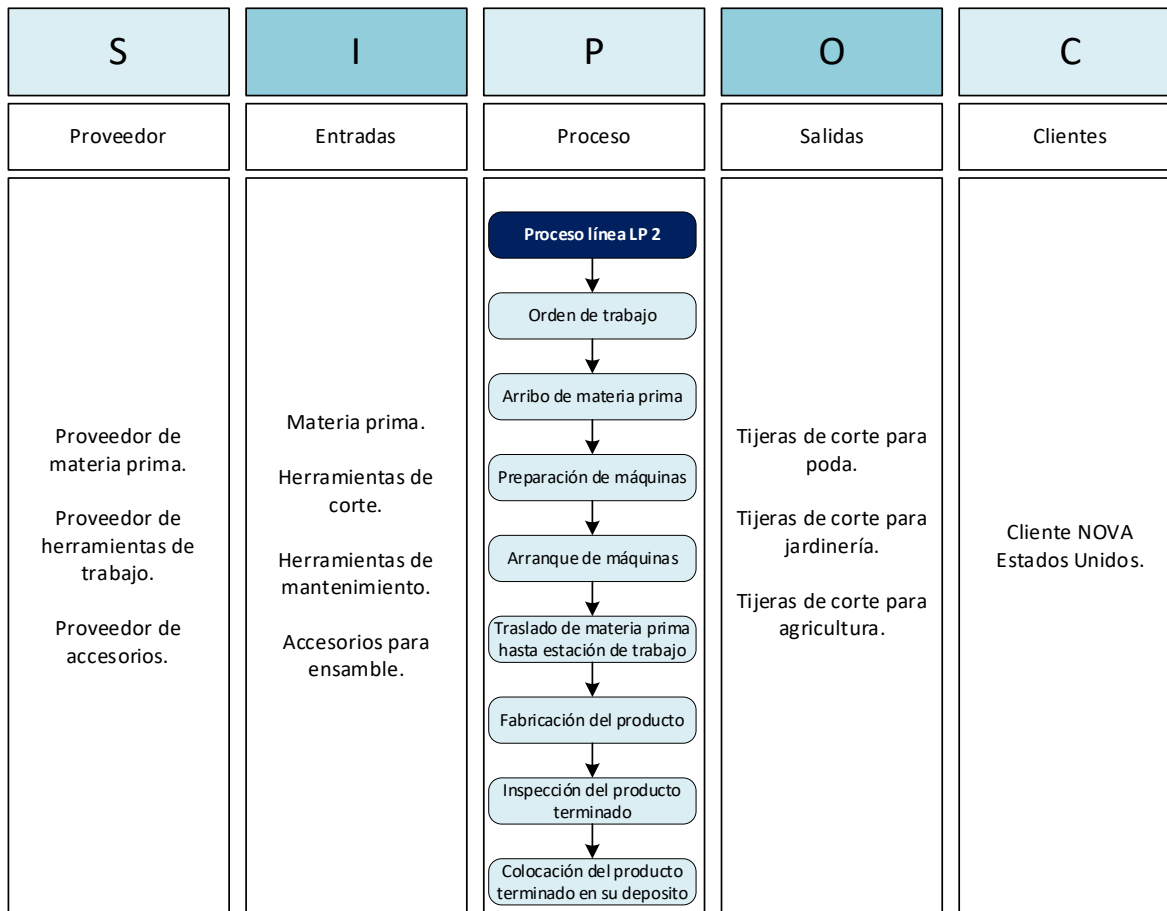


Figura 3.5 Diagrama SIPOC línea de producción LP 2 (Fuente: elaboración propia).

3.3 Medir indicadores a evaluar

En esta sección se describe el proceso para la medición de los indicadores a evaluar, de la línea de producción LP 2, en la empresa en estudio. Este proceso fue fundamental para garantizar un monitoreo preciso y efectivo del rendimiento operativo y la calidad de los productos manufacturados. Las actividades realizadas para lograr una medición efectiva fueron las siguientes:

1. Identificar indicadores que afectan a la productividad.
2. Describir indicadores que afectan a la productividad.
3. Medir el tiempo de preparación de máquinas *Off-line*.
4. Medir el tiempo de preparación de máquinas *Crush & Broach*.
5. Medir desperdicio de material.

3.3.1 Identificar indicadores que afectan a la productividad

Tras completar la descripción detallada de la línea LP 2, en la Sección 3.2.5, se realizó un análisis, en conjunto con el supervisor de la línea, con el propósito de identificar indicadores que inciden directamente en la productividad, considerando las áreas de oportunidad detectadas en la línea (Tabla 3.1).

A partir de la experiencia y el criterio del supervisor se definieron los siguientes indicadores clave que afectan la productividad y que inciden directamente con el objetivo del presente proyecto: aumentar la productividad en una línea de producción:

- Tiempo de preparación de máquinas *Off-line*.
- Tiempo de preparación de máquinas *Crush & Broach*.
- Desperdicio de material.

3.3.2 Describir indicadores que afectan a la productividad

Para una comprensión más completa de los indicadores, identificados en la Sección 3.3.1, se realizó una descripción detallada de cada uno. Esta descripción sentó las bases para la evaluación y mejora posterior de los indicadores, asegurando un enfoque integral y orientado a los resultados del proyecto. La descripción de los indicadores es la siguiente:

- Tiempo de preparación de máquinas *Off-line*.

El tiempo de preparación de máquinas *Off-line* -que abarca actividades como el cambio de brocas, cortadores, ajustes de las herramientas, adecuación del área y búsqueda de materiales- provoca largos periodos de inactividad al inicio de cada turno en la línea de producción LP 2. Esta situación ha contribuido a retrasos en la producción, lo que a su vez ha dificultado el cumplimiento de la demanda.

Con el propósito de abordar esta problemática se evaluó el indicador de tiempo de preparación de máquinas *Off-line*, en unidades de tiempo, tomando como referencia el tiempo que el personal operativo emplea en llevar a cabo las actividades de preparación.

- Tiempo de preparación de máquinas *Crush & Broach*.

El tiempo de preparación de máquinas *Crush & Broach* -que abarca actividades como el cambio de piedras abrasivas, cambio de varillas brochadoras, ajuste de máquinas, adecuación del área y búsqueda de materiales- provoca periodos de inactividad al inicio de cada turno en la línea de producción LP 2.

Para abordar esta problemática se evaluó el indicador de tiempo de preparación de máquinas *Crush & Broach*, en unidades de tiempo, tomando como referencia el tiempo que el personal operativo emplea en llevar a cabo las actividades de preparación.

- Desperdicio de material.

El desperdicio de material, en la línea de producción LP 2, se refiere al daño o uso inadecuado de recursos físicos dentro del ámbito operativo. Dentro del contexto de la línea de producción LP 2, este desperdicio de material se refiere a forjas dañadas, éstas al caerse en las cajoneras de las máquinas y estar en contacto directo con aceite y líquidos refrigerantes sufren daño por oxido en su estructura.

Con el objetivo de abordar esta problemática se evaluó el indicador desperdicio de material, en número de forjas dañadas, lo que permitió medir de manera precisa el nivel de desperdicio en la línea, con el objetivo de establecer acciones correctivas, para optimizar la eficiencia y la calidad en los procesos.

3.3.3 Medir tiempo de preparación de máquinas *Off-line*

La medición del tiempo de preparación de las máquinas *Off-line*, se realizó a través de las siguientes actividades:

- Medición de tiempos preliminares.
- Cálculo de número de ciclos óptimos.
- Medición de tiempos de ciclos faltantes.

3.3.3.1 Medición de tiempos preliminares

La medición de tiempos preliminares de las actividades realizadas por el operador en la preparación de las máquinas *Off-line* (Tabla 3.8), se realizó a través de la observación y toma de tiempos con cronómetro.

Tabla 3.8 Actividades de preparación Off-line (Fuente: elaboración propia).

No.	Actividad	No.	Actividad
1	Limpia la base de las máquinas.	26	Acciona la primera máquina.
2	Va a almacén de materia prima.	27	Verifica las características del barrenado para tornillo central.
3	Solicita material de acuerdo a la tijera a fabricar.	28	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.
4	Regresa a estación de trabajo.	29	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.
5	Toma herramienta para desmontar brocas y cortadores.	30	Acciona la segunda máquina.
6	Desmonta las brocas y los cortadores.	31	Verifica las características del barrenado para tornillo central.
7	Coloca las brocas y los cortadores desmontados en área común.	32	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.
8	Coloca la herramienta utilizada en un carrito de herramientas.	33	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.
9	Va a almacén de mantenimiento.	34	Acciona la tercera máquina.
10	Toma brocas, cortadores y aceite para las máquinas.	35	Verifica las características del desvate para resorte.
11	Regresa a estación de trabajo.	36	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.
12	Coloca el aceite en el depósito de las máquinas.	37	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.
13	Toma herramienta para montar brocas y cortadores.	38	Acciona la cuarta máquina.
14	Monta brocas y coradores en las máquinas.	39	Verifica las características del barrenado para seguro.
15	Enciende en tablero cabezales, fresadoras, avellanador y bomba de agua.	40	Ajusta caída de la herramienta de corte de la cuarta máquina.
16	Toma la herramienta para realizar ajustes.	41	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.
17	Ajusta brocas y cortadores	42	Acciona la quinta máquina.
18	Realiza pruebas en vacío de brocas y cortadores.	43	Verifica las características del corte angular para resorte.
19	Verifica el giro de brocas y cortadores.	44	Ajusta caída de la herramienta de corte de la quinta máquina.
20	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.	45	Lleva la forja a la base de la sexta máquina.
21	Toma una caja de material del depósito de la línea.	46	Acciona la sexta máquina.
22	Regresa a la estación de trabajo.	47	Verifica las características de la cuerda del agujero para el seguro.
23	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.	48	Ajusta caída de la herramienta de corte de la sexta máquina.
24	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.	49	Realiza corrida de prueba.
25	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.	50	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.

Se tomaron seis ciclos para los tiempos de la máquina *Off-line*, con la finalidad de obtener una muestra preliminar, y con base en ella, realizar el cálculo del número de ciclos óptimos. El resultado de las lecturas de tiempo, obtenidas de los seis ciclos tomados, se muestra en la Tabla 3.9.

3.3.3.2 Cálculo de número de ciclos óptimos

El cálculo del número de ciclos óptimo se realizó utilizando el método estadístico por fórmula directa (Ecuación 3.1).

$$n = \left[\frac{40\sqrt{n' \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right]^2 \dots\dots\dots (3.1)$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra a obtener.

n' = Número de observaciones del estudio preliminar.

$\sum$ = Sumatoria de valores.

Tabla 3.9 Tiempos preliminares máquinas Off-line (Fuente: elaboración propia).

No.	Actividad	Ciclos (minutos)						Promedio min.
		1	2	3	4	5	6	
1	Limpia la base de las máquinas.	1.3	1.6	1.4	1.5	1.6	1.5	1.48
2	Va a almacén de materia prima.	3.4	3.6	3.5	3.5	3.4	3.6	3.50
3	Solicita material de acuerdo a la tijera a fabricar.	0.4	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.48
4	Regresa a estación de trabajo.	3.5	3.6	3.4	3.5	3.5	3.4	3.48
5	Toma herramienta para desmontar brocas y cortadores.	0.2	0.3	0.25	0.25	0.3	0.2	0.25
6	Desmonta las brocas y los cortadores.	3.7	3.5	3.6	3.5	3.7	3.6	3.60
7	Coloca las brocas y los cortadores desmontados en área común.	0.25	0.3	0.2	0.2	0.3	0.25	0.25
8	Coloca la herramienta utilizada en un carrito de herramientas.	0.5	0.6	0.4	0.5	0.5	0.5	0.50
9	Va a almacén de mantenimiento.	3.8	4	3.9	3.9	3.8	4	3.90
10	Toma brocas, cortadores y aceite para las máquinas.	2.4	2.6	2.5	2.5	2.4	2.6	2.50
11	Regresa a estación de trabajo.	3.9	3.9	3.8	3.8	3.8	3.7	3.82
12	Coloca el aceite en el depósito de las máquinas.	1.4	1.6	1.5	1.5	1.4	1.6	1.50
13	Toma herramienta para montar brocas y cortadores.	0.5	0.4	0.6	0.5	0.5	0.4	0.48
14	Monta brocas y coradores en las máquinas.	2.5	2.8	1.7	2.8	1.7	2.2	2.28
15	Enciende en tablero cabezales, fresadoras, avellanador y bomba de agua.	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.38
16	Toma la herramienta para realizar ajustes.	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5	0.50
17	Ajusta brocas y cortadores	2.1	2.3	1.8	2.2	1.8	2.2	2.07
18	Realiza pruebas en vacío de brocas y cortadores.	1.4	1.6	1.5	1.5	1.4	1.6	1.50
19	Verifica el giro de brocas y cortadores.	0.8	0.9	1	0.8	1	0.9	0.90
20	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8	0.87
21	Toma una caja de material del depósito de la línea.	0.6	0.6	0.5	0.5	0.7	0.6	0.58
22	Regresa a la estación de trabajo.	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	1.1	0.92
23	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.	0.2	0.2	0.3	0.25	0.25	0.3	0.25
24	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.50
25	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.	0.19	0.2	0.2	0.21	0.2	0.2	0.20
26	Acciona la primera máquina.	0.29	0.3	0.3	0.31	0.31	0.3	0.30
27	Verifica las características del barrenado para tornillo central.	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6	0.50
28	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.	1.6	2.5	2.4	1.4	2.6	2.5	2.17
29	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.	0.4	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.50
30	Acciona la segunda máquina.	0.31	0.31	0.3	0.29	0.3	0.3	0.30
31	Verifica las características del barrenado para tornillo central.	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.50
32	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.	2.8	1.9	2.8	1.7	1.8	2.8	2.30
33	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.50
34	Acciona la tercera máquina.	0.31	0.3	0.29	0.3	0.3	0.31	0.30
35	Verifica las características del desvate para resorte.	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.50
36	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.	2.5	1.3	2.4	1.5	2.5	2.5	2.12
37	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.50
38	Acciona la cuarta máquina.	0.29	0.3	0.3	0.31	0.31	0.3	0.30
39	Verifica las características del barrenado para seguro.	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.50
40	Ajusta caída de la herramienta de corte de la cuarta máquina.	1.7	2.5	2.4	2.7	2.5	2.6	2.40
41	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.50
42	Acciona la quinta máquina.	0.3	0.3	0.31	0.31	0.3	0.29	0.30
43	Verifica las características del corte angular para resorte.	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.50
44	Ajusta caída de la herramienta de corte de la quinta máquina.	2.5	2.3	2.4	2.7	2.4	1.7	2.33
45	Lleva la forja a la base de la sexta máquina.	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.50
46	Acciona la sexta máquina.	0.3	0.29	0.3	0.3	0.31	0.31	0.30
47	Verifica las características de la cuerda del agujero para el seguro.	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.50
48	Ajusta caída de la herramienta de corte de la sexta máquina.	1.1	2.5	1.5	2.1	1.4	1.6	1.70
49	Realiza corrida de prueba.	1.5	1.5	1.4	1.6	1.4	1.6	1.50
50	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.	1.1	1.1	0.8	1.1	1	0.9	1.00
Tiempo total min. =		58.14	61.1	59.35	58.93	58.88	60.76	59.53
Tiempo promedio por tuno =		59.53 min.						
Tiempo aproximado mensual =		28 x 59.53 min = 27.78 hrs.						

Para realizar el cálculo del número de ciclo óptimos se realizaron los siguientes pasos:

1. Se realizó la Tabla 3.10 para obtener $\sum x$ y $\sum x^2$.
2. Se sustituyeron, en la Ecuación 3.1, los valores obtenidos en el paso 1 (Tabla 3.10).

El resultado se muestra en la Ecuación 3.2.

Tabla 3.10 Cálculos para ciclos óptimos de máquina Off-line
(Fuente: elaboración propia)

Tiempo total (minutos)	x ²
58.14	3,380.25
61.1	3,733.21
59.35	3,522.42
58.93	3,472.74
58.88	3,466.85
60.76	3,691.77
$\Sigma x = 357.16$	$\Sigma x^2 = 21,267.26$

$$n = \left[\frac{40\sqrt{(6)(21,267.26) - (357.16)^2}}{(357.16)} \right]^2 = 0.506 \approx 1 \text{ ciclo} \dots\dots\dots (3.2)$$

- De acuerdo con la Ecuación 3.2, se determinó que el número de ciclos para que el estudio tenga validez es de 1 ciclo.

3.3.3.3 Medición de tiempos de ciclos faltantes

Dado a que el número óptimo de ciclos para que el estudio tenga validez estadística es igual a 1 ciclo (Sección 3.3.3.2), no fue necesario realizar mediciones adicionales a las tomadas en un principio. Por lo tanto, se utilizaron los datos obtenidos en la Sección 3.3.3.1, a partir de los cuales se determinó que el **tiempo promedio de preparación de las máquinas Off-line es de 59.53 minutos (Tabla 3.9).**

3.3.4 Medir tiempo de preparación de máquinas *Crush & Broach*

La medición del tiempo de preparación de las máquinas *Crush & Broach* se realizó a través de las siguientes actividades:

- Medición de tiempos preliminares.
- Cálculo de número de ciclos óptimos.
- Medición de tiempos de ciclos faltantes.

3.3.4.1 Medición de tiempos preliminares

La medición de tiempos preliminares de las actividades realizadas por el operador en la preparación de las máquinas *Crush & Broach* (Tabla 3.11), se realizó a través de la observación directa del proceso de preparación, así como la toma y registro del tiempo de actividad realizada.

Se tomaron seis ciclos para los tiempos de la máquina *Crush & Broach*, con la finalidad de obtener una muestra preliminar, y con base en ella, realizar el cálculo del número de ciclos óptimos. El resultado de las lecturas de tiempo obtenidas de los seis ciclos tomados se muestra en la Tabla 3.12.

3.3.4.2 Cálculo de número de ciclos óptimos

El cálculo del número de ciclos faltantes se realizó, utilizando el método estadístico por fórmula directa Ecuación 3.3.

Tabla 3.11 Actividades de preparación *Crush & Broach* (Fuente: elaboración propia).

No.	Actividad	No.	Actividad
1	Limpia la base de las máquinas.	23	Acciona la primera máquina.
2	Toma herramienta para desmontar.	24	Verifica las características del corte angular para resorte.
3	Desmonta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	25	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.
4	Coloca lo desmontado en área común.	26	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.
5	Coloca la herramienta utilizada en un carrito.	27	Acciona la segunda máquina.
6	Va a almacén de mantenimiento.	28	Verifica las características del doble barrenado para pines.
7	Toma brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	29	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.
8	Regresa a estación de trabajo.	30	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.
9	Enciende bomba y abre válvulas de refrigerante.	31	Acciona la tercera máquina.
10	Toma herramienta para montar brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	32	Verifica las características del avellando para pines.
11	Monta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	33	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.
12	Enciende en tablero máquinas (taladros, crush grinder y máquina brochadora).	34	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.
13	Toma la herramienta para realizar ajustes.	35	Acciona la cuarta máquina.
14	Ajusta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	36	Verifica las características del angulo de la piedra abrasiva.
15	Realiza pruebas en vacío.	37	Ajusta la posición de la piedra abrasiva de la cuarta máquina.
16	Verifica el funcionamiento de brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	38	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.
17	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.	39	Acciona la quinta máquina.
18	Toma una caja de material del depósito de la línea.	40	Verifica las características del ovalo con varilla brochadora para tornillo.
19	Regresa a la estación de trabajo.	41	Ajusta subida de varilla brochadora de la quinta máquina.
20	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.	42	Realiza corrida de prueba.
21	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.	43	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.
22	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.		

Tabla 3.12 Tiempos preliminares máquinas Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).

No.	Actividad	Ciclos (minutos)						Promedio min.
		1	2	3	4	5	6	
1	Limpia la base de las máquinas.	1.1	1.1	1.4	1.5	1.1	1.5	1.28
2	Toma herramienta para desmontar.	0.2	0.3	0.25	0.25	0.3	0.2	0.25
3	Desmonta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	3.4	3.5	3.9	3.5	3.3	3.6	3.53
4	Coloca lo desmontado en área común.	0.25	0.3	0.2	0.2	0.3	0.25	0.25
5	Coloca la herramienta utilizada en un carrito.	0.5	0.6	0.4	0.5	0.5	0.5	0.50
6	Va a almacén de mantenimiento.	3.8	3.5	3.3	3.9	3.8	3.2	3.58
7	Toma brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	2.1	2.6	2.5	2.3	2.4	2.1	2.33
8	Regresa a estación de trabajo.	3.2	3.9	3.8	3.1	3.8	3.2	3.50
9	Enciende bomba y abre válvulas de refrigerante.	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.33
10	Toma herramienta para montar brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	0.3	0.4	0.3	0.5	0.5	0.4	0.40
11	Monta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	2.5	2.8	1.7	2.8	1.7	2.2	2.28
12	Enciende en tablero máquinas (taladros, crush grinder y máquina brochadora).	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.37
13	Toma la herramienta para realizar ajustes.	0.5	0.3	0.5	0.5	0.4	0.5	0.45
14	Ajusta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	2.1	2.5	1.8	1.5	1.8	2.1	1.97
15	Realiza pruebas en vacío.	1.4	1.6	1.5	1.5	1.4	1.6	1.50
16	Verifica el funcionamiento de brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	0.8	0.9	1	0.8	1	0.9	0.90
17	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8	0.87
18	Toma una caja de material del depósito de la línea.	0.6	0.6	0.5	0.5	0.7	0.6	0.58
19	Regresa a la estación de trabajo.	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	1.1	0.92
20	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.	0.2	0.2	0.3	0.25	0.25	0.3	0.25
21	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.47
22	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.	0.19	0.2	0.2	0.21	0.2	0.2	0.20
23	Acciona la primera máquina.	0.29	0.3	0.3	0.31	0.31	0.3	0.30
24	Verifica las características del corte angular para resorte.	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6	0.50
25	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.	1.6	1.5	1.5	1.4	2.6	2.5	1.85
26	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.	0.4	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.50
27	Acciona la segunda máquina.	0.31	0.31	0.3	0.29	0.3	0.3	0.30
28	Verifica las características del doble barrenado para pines.	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.50
29	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.	1.8	1.9	2	1.7	1.8	2.8	2.00
30	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.50
31	Acciona la tercera máquina.	0.31	0.3	0.29	0.3	0.3	0.31	0.30
32	Verifica las características del avellando para pines.	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.50
33	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.	1.9	1.3	2	1.5	1.9	2.1	1.78
34	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.50
35	Acciona la cuarta máquina.	0.29	0.3	0.3	0.31	0.31	0.3	0.30
36	Verifica las características del angulo de la piedra abrasiva.	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.50
37	Ajusta la posición de la piedra abrasiva de la cuarta máquina.	1.5	2.5	2	1.5	1.9	2.1	1.92
38	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.50
39	Acciona la quinta máquina.	0.3	0.3	0.31	0.31	0.3	0.29	0.30
40	Verifica las características del ovalo con varilla brochadora para tornillo.	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.50
41	Ajusta subida de varilla brochadora de la quinta máquina.	1.1	1.3	1.1	1.1	1.4	1.3	1.22
42	Realiza corrida de prueba.	1.5	1.5	1.4	1.6	1.4	1.6	1.50
43	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.	1.1	1.1	0.8	1.1	1	0.9	1.00
Tiempo total min.=		42.54	45.11	43.45	42.33	44.57	45.95	43.99
Tiempo promedio por turno = 43.99 min.								
Tiempo aproximado mensual = 28 x 43.99 min = 20.52 hrs.								

$$n = \left[\frac{40\sqrt{n' \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right]^2 \dots\dots\dots (3.3)$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra a obtener.

n' = Número de observaciones del estudio preliminar.

Σ = Sumatoria de valores.

Para realizar el cálculo del número de ciclo óptimos se realizaron los siguientes pasos:

1. Se realizó la Tabla 3.13 para obtener $\sum x$ y $\sum x^2$.
2. Se sustituyó, en la Ecuación 3.3, los valores obtenidos en el paso 1 (Tabla 3.13). El resultado se muestra en la Ecuación 3.4:

$$n = \left[\frac{40\sqrt{(6)(11,531.28) - (262.95)^2}}{(262.95)} \right]^2 = 1.04 \approx 2 \text{ ciclos} \dots\dots\dots (3.4)$$

3. De acuerdo con la Ecuación 3.4, se determinó que el número de ciclos para que el estudio tenga validez es de 2.

3.3.4.3 Medición de tiempos de ciclos faltantes

Dado a que el número óptimo de ciclos es igual a 2 (Sección 3.3.4.2), no fue necesario realizar mediciones adicionales.

Por lo tanto, se utilizaron los datos obtenidos en la Sección 3.3.4.1 a partir de los cuales se determinó que **el tiempo promedio de preparación de la máquina *Crush & Broach* es de 43.99 minutos (Tabla 3.12).**

Tabla 3.13 Cálculos para ciclos óptimos de máquina *Crush & Broach*
(Fuente: elaboración propia).

Tiempo total (minutos)	x^2
42.54	1,809.65
45.11	2,034.91
43.45	1,887.90
42.33	1,791.82
44.57	1,986.48
44.95	2020,50
$\sum x = 262.95$	$\sum x^2 = 11,531.28$

3.3.5 Medir desperdicio de material

La medición del desperdicio de material en la línea de producción LP 2 se realizó a través de las siguientes actividades:

- Medición preliminar de desperdicio de material.
- Cálculo del tamaño de muestra óptimo.
- Registro de observaciones faltantes.

3.3.5.1 Medición preliminar de desperdicio de material

La medición preliminar de desperdicio de material en la línea de producción de LP 2, se realizó a través de recorridos en la línea y de la observación directa de los procesos que cuentan con cajoneras, así como de la contabilización y registro del número de forjas dentro de éstas, evidencia esto se muestra en la Figura 3.6.

Se realizó el registro de doce observaciones de desperdicio de material, de los procesos que cuentan con cajonera en la línea de producción LP 2, durante doce días (una por día), con el objetivo de obtener una medición preliminar, y con base en ella, realizar el cálculo del tamaño de muestra óptimo. El resultado del registro de las observaciones, obtenidas durante los doce días que se realizó la medición preliminar se muestra en la Tabla 3.14.



Figura 3.6 Evidencia de desperdicio de material (Fuente: elaboración propia).

Tabla 3.14 Desperdicio de material antes de la mejora (Fuente: elaboración propia).

Proceso con cajonera	Desperdicio por día (forjas)											
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12
Off-line # 1	15	15	19	16	14	17	12	17	24	12	14	17
Off-line # 2	18	18	13	22	17	15	19	15	10	16	18	14
Off line # 3	17	20	12	17	12	20	15	16	10	14	22	16
Crush & Broach	17	15	16	20	16	17	18	18	15	19	13	21
Flat grind	18	16	20	19	19	12	21	19	18	20	24	12
Bevel & Sharpen #1	17	12	18	15	12	9	19	20	15	20	12	21
Bevel & Sharpen #2	17	19	16	12	15	18	22	22	12	21	10	16
Promedio =	17	16	16	17	15	15	18	18	15	17	16	17
Desperdicio promedio por día = 17 forjas												
Desperdicio aproximado por mes = 28 x 17 = 476 forjas												

3.3.5.2 Cálculo del tamaño de muestra óptimo

El cálculo del tamaño de muestra óptimo se realizó, utilizando el método estadístico por fórmula directa Ecuación 3.5.

$$n = \left[\frac{40\sqrt{n' \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right]^2 \dots\dots\dots (3.5)$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra a obtener.

n' = Número de observaciones del estudio preliminar.

$\sum$ = Sumatoria de valores.

Para realizar el cálculo del tamaño de muestra óptimo se realizaron los siguientes pasos:

1. Se realizó la Tabla 3.15 para obtener $\sum x$ y $\sum x^2$.
2. Se sustituyó, en la Ecuación 3.5, los valores obtenidos en el paso 1 (Tabla 3.15). El resultado se muestra en la Ecuación 3.6:

$$n = \left[\frac{40\sqrt{(12)(3,247) - (197)^2}}{(197)} \right]^2 = 6.39 \approx 7 \text{ observaciones} \dots\dots\dots (3.6)$$

Tabla 3.15 Cálculos para tamaño de muestra óptimo (Fuente: elaboración propia).

Observación	Desperdicio total (forjas)	x^2
1	17	289
2	16	256
3	16	256
4	17	289
5	15	225
6	15	225
7	18	324
8	18	324
9	15	225
10	17	289
11	16	256
12	17	289
	$\sum x = 197$	$\sum x^2 = 3,247$

- De acuerdo con la Ecuación 3.6, se determinó que el tamaño de muestra óptimo para que el estudio tenga validez es de 7 observaciones.

3.3.5.3 Registro de observaciones faltantes

Dado a que el tamaño de muestra óptimo es igual a 7 observaciones (Sección 3.3.5.2), no fue necesario realizar el registro de observaciones adicionales. Por lo tanto, se utilizaron los datos obtenidos en la Sección 3.3.5.1 a partir de los cuales se determinó que el **desperdicio de material promedio por día es de 17 forjas**, mientras que, el **desperdicio aproximado de forjas por mes es de 476 forjas (Tabla 3.14)**.

3.4 Analizar causas raíz de los problemas

En esta sección se describe el proceso para el análisis de causas raíz de los problemas, de la línea de producción LP 2, en la empresa en estudio. Este análisis se llevó a cabo con el objetivo de identificar factores subyacentes, que contribuyen a problemas recurrentes en la línea de producción, permitiendo así, guiar la implementación de soluciones efectivas y preventivas. Las actividades realizadas para lograr un análisis efectivo fueron las siguientes:

1. Identificar causas que repercuten en los indicadores que afectan la productividad.
2. Realizar mapa, de la situación actual, de la cadena de flujo de valor (VSM) de la línea de producción LP 2.

3.4.1 Identificar causas que repercuten en los indicadores que afectan la productividad

Para identificar causas que ocasionan que los indicadores descritos en la Sección 3.3.2, afecten negativamente a la productividad, se realizó un diagrama de Ishikawa para cada indicador. Estos diagramas se basaron en el análisis de múltiples factores que podrían influir en el rendimiento, se examinaron aspectos como el recurso humano, los procesos operativos, la maquinaria utilizada y las condiciones ambientales.

Los resultados de este análisis proporcionaron una visión integral de los desafíos que enfrenta la línea de producción LP 2, orientando la implementación de medidas correctivas. Los diagramas realizados son los siguientes:

- Diagrama de Ishikawa para tiempo de preparación de máquinas *Off-line*.
- Diagrama de Ishikawa para tiempo de preparación de máquinas *Crush & Broach*.
- Diagrama de Ishikawa para desperdicio de material.

3.4.1.1 Diagrama de Ishikawa para tiempo de preparación de máquinas *Off-line*

Se realizó el diagrama de Ishikawa, para el indicador “tiempo de preparación de máquinas *Off-line*” (Figura 3.7), de acuerdo con la siguiente metodología, la cual está basada en lo que se describió en la Sección 2.1.2.3.

1. Definir problemática. Se definió la problemática principal como el tiempo de preparación de máquinas *Off-line*, con el objetivo de identificar sus causas subyacentes.
2. Formar un equipo. Se formó un equipo de trabajo, integrado por personas con experiencia y conocimiento del proceso de la línea LP 2, el equipo se conformó por el gerente de planta, el supervisor de la línea de producción y el autor del proyecto.

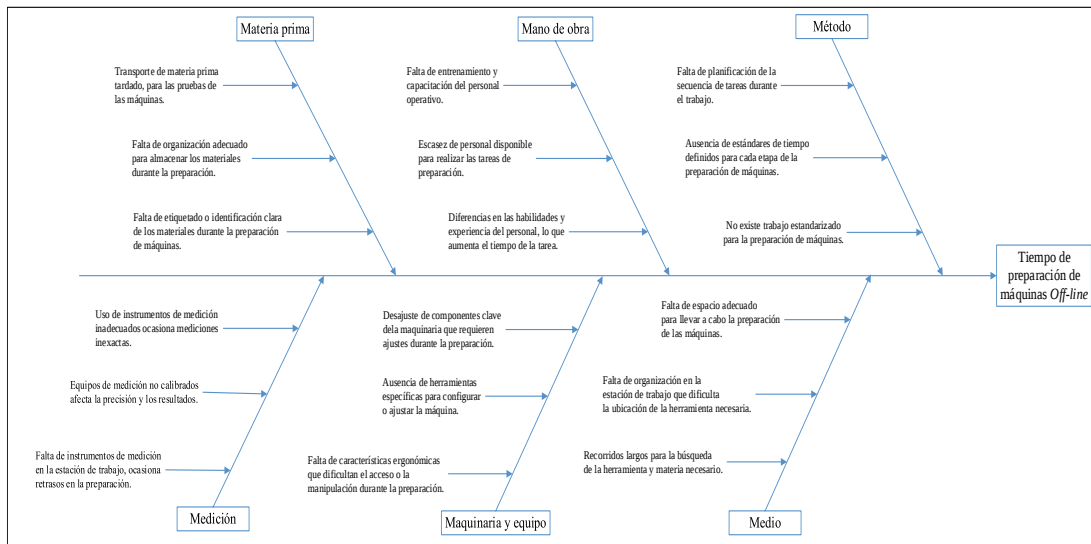


Figura 3.7 Diagrama de Ishikawa para el indicador "tiempo de preparación de máquinas Off-line" (Fuente: elaboración propia).

3. Escribir la problemática seleccionada. La problemática seleccionada fue escrita en el lado derecho de la hoja de trabajo, marcando así el inicio del diagrama. Se dibujó una flecha de izquierda a derecha apuntando hacia dicho recuadro para indicar su relación con el resto del diagrama.
4. Seleccionar los factores principales. Los factores principales, para la elaboración del diagrama de Ishikawa, fueron seleccionados siguiendo el enfoque de las 6M's (Sección 2.1.2.1) con el propósito de identificar causas subyacentes de la problemática definida: tiempo grande de preparación de máquinas.
 - Método.
 - Mano de obra.
 - Medio.
 - Maquinaria y equipo.
 - Materia prima.
 - Medición.
5. Escribir los factores seleccionados. Los factores seleccionados se escribieron en rectángulos, por encima y por debajo de la flecha central, conectándolos mediante flechas en diagonal a ésta. Este diseño visual generó una disposición que se asemeja al esqueleto de un pescado, característico del diagrama de Ishikawa.

6. Escribir causas de la problemática. El equipo de trabajo determinó causas de la problemática mediante de una discusión grupal, abordando cada uno de los factores principales seleccionados. Las causas identificadas se escribieron junto a las flechas diagonales, acompañadas por pequeñas flechas que indican la relación con el factor correspondiente.

3.4.1.2 Diagrama de Ishikawa para tiempo de preparación de máquinas *Crush & Broach*

Se realizó el diagrama de Ishikawa para el indicador “tiempo de preparación de máquinas *Crush & Broach*” (Figura 3.8), éste se realizó de acuerdo con la siguiente metodología:

1. Definir problemática. Se definió la problemática principal como el tiempo de preparación de máquinas *Crush & Broach*.
2. Formar un equipo. El equipo de trabajo se conformó por el gerente de planta, el supervisor de la línea de producción y el autor del proyecto.
3. Escribir la problemática seleccionada. La problemática seleccionada fue escrita en el lado derecho de la hoja de trabajo y se dibujó una flecha de izquierda a derecha apuntando hacia dicho recuadro para indicar su relación con el resto del diagrama.

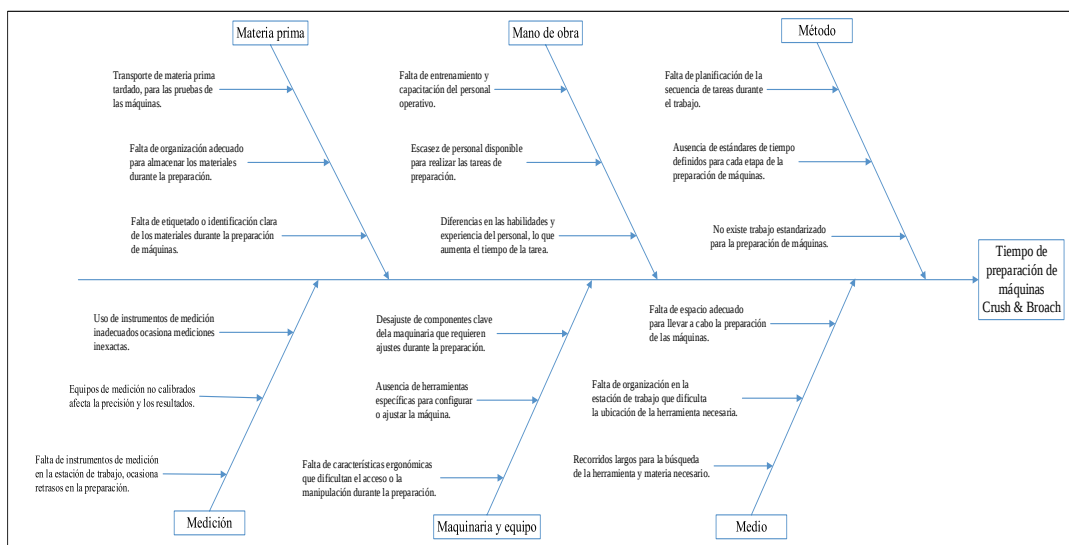


Figura 3.8 Diagrama de Ishikawa para el indicador "tiempo de preparación de máquinas *Crush & Broach*" (Fuente: elaboración propia).

4. Seleccionar los factores principales. Los siguientes factores principales, para la elaboración del diagrama de Ishikawa, fueron seleccionados siguiendo el enfoque de las 6M's:
 - a. Método.
 - b. Mano de obra.
 - c. Medio.
 - d. Maquinaria y equipo.
 - e. Materia prima.
 - f. Medición.
5. Escribir los factores seleccionados. Los factores seleccionados se escribieron en rectángulos, por encima y por debajo de la flecha central, conectándolos mediante flechas en diagonal a ésta.
6. Escribir causas de la problemática. El equipo de trabajo determinó causas de la problemática, mediante de una discusión grupal, abordando cada una de las categorías correspondientes a los factores seleccionados. Las causas identificadas se escribieron junto a las flechas diagonales, acompañadas pequeñas flechas que indican la relación con el factor correspondiente.

3.4.1.4 Diagrama de Ishikawa para desperdicio de material

Se realizó el diagrama de Ishikawa para el indicador “desperdicio de material” (Figura 3.9), éste se realizó de acuerdo con la siguiente metodología:

1. Definir problemática. Se definió la problemática principal como el desperdicio de material.
2. Formar un equipo. El equipo de trabajo se conformó por el gerente de planta, el supervisor de la línea de producción y el autor del proyecto.
3. Escribir la problemática seleccionada. La problemática seleccionada fue escrita en el lado derecho de la hoja de trabajo y se dibujó una flecha de izquierda a derecha apuntando hacia dicho recuadro para indicar su relación con el resto del diagrama.

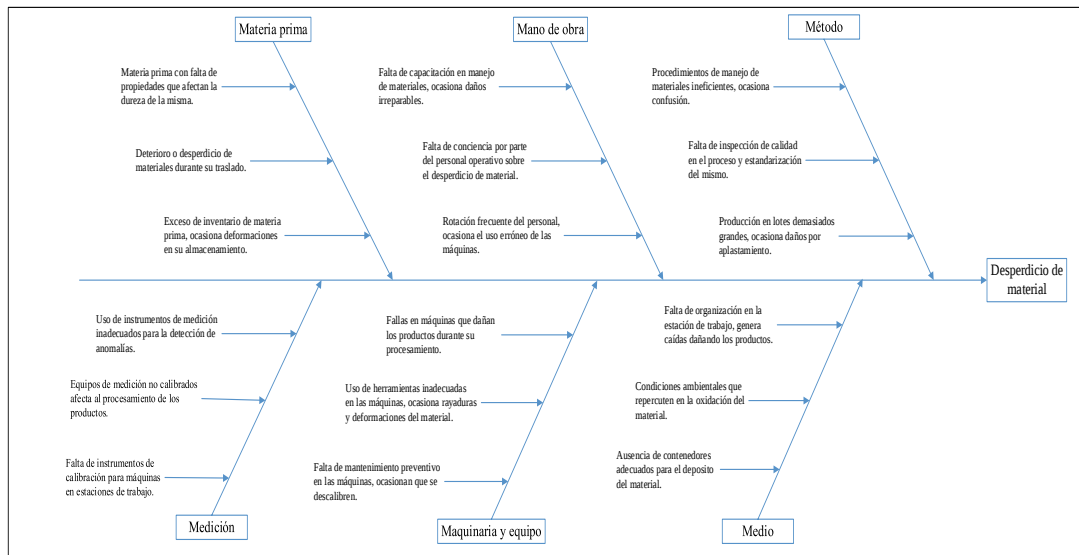


Figura 3.9 Diagrama de Ishikawa para el indicador "Desperdicio de material" (Fuente: elaboración propia).

4. Seleccionar los factores principales. Los siguientes factores principales, para la elaboración del diagrama de Ishikawa, fueron seleccionados siguiendo el enfoque de las 6M's:
 - Método.
 - Mano de obra.
 - Medio.
 - Maquinaria y equipo.
 - Materia prima.
 - Medición.
5. Escribir los factores seleccionados. Los factores seleccionados se escribieron en rectángulos, por encima y por debajo de la flecha central, conectándolos mediante flechas en diagonal a ésta.
6. Escribir causas de la problemática. El equipo de trabajo determinó causas de la problemática mediante de una discusión grupal, abordando cada una de las categorías correspondientes a los factores seleccionados. Las causas identificadas se escribieron junto a las flechas diagonales, acompañadas pequeñas flechas que indican la relación con el factor correspondiente.

3.4.2 Definir causas principales y secundarias que afectan en los indicadores

Después de identificar las causas que repercuten en los indicadores que afectan a la productividad (Sección 3.4.1), se elaboró un diagrama relacional (Figura 3.10) que agrupa las causas comunes extraídas de los diagramas de Ishikawa de cada indicador (Sección 3.4.1), con el propósito clasificar las causas comunes que afectan los indicadores de la productividad (Sección 3.3.2) en tres grupos: causas principales, causas secundarias y causas irrelevantes.

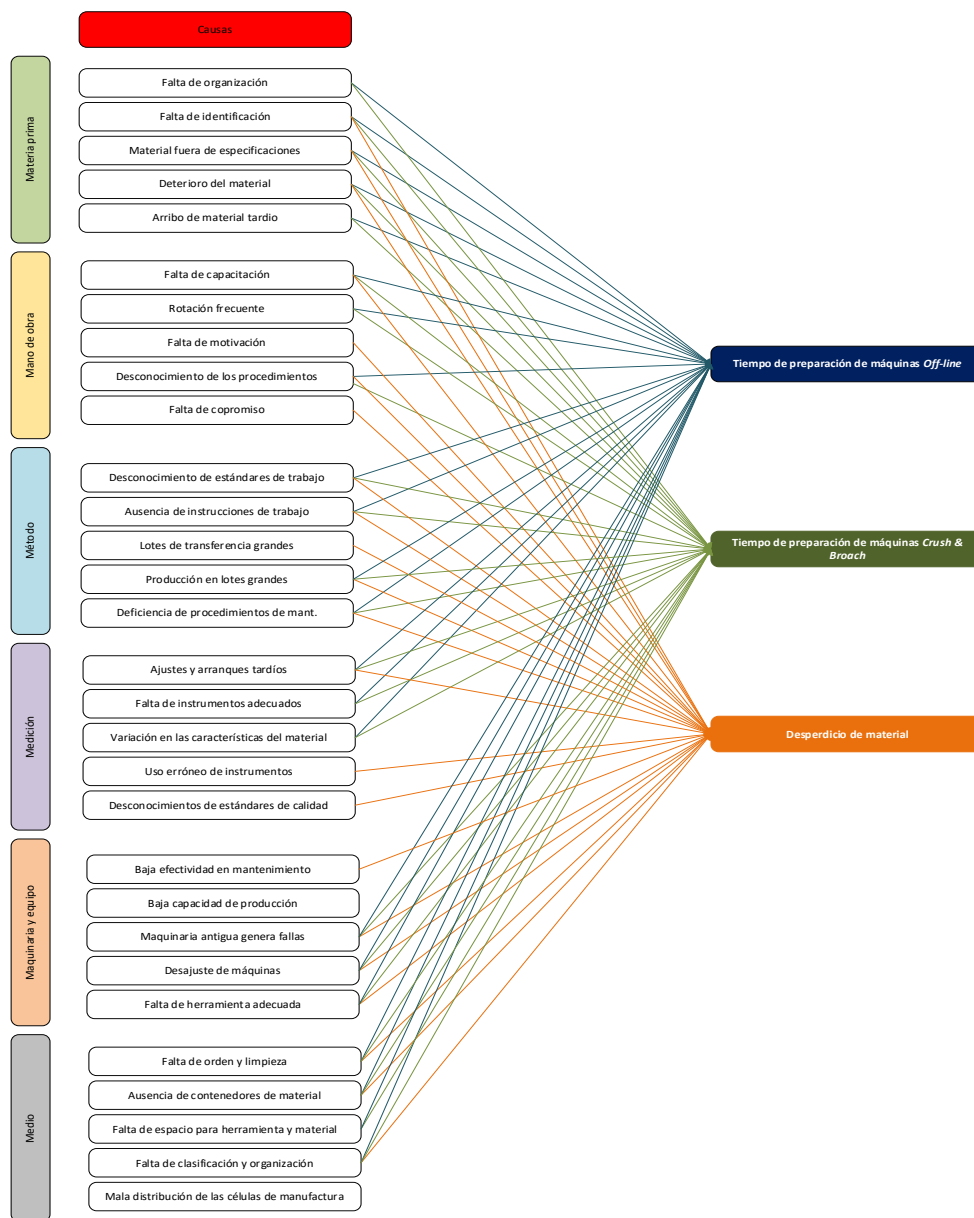


Figura 3.10 Diagrama relacional causas-raíz indicadores (Fuente: elaboración propia).

De acuerdo con la Figura 3.10, se observa que las diferentes causas repercuten directamente en más de un indicador. Por esta razón, se realizó la Tabla 3.16, en la que se muestra cuantos indicadores son afectados por cada causa, asimismo el tipo de categoría de cada causa: principales aquellas que afectan a los 4 indicadores, secundarias aquellas que afectan a 3 indicadores e irrelevantes aquellas que afectan a menos de 3 indicadores.

Tabla 3.16 Causas que afectan indicadores (Fuente: elaboración propia)

Causa	Indicador			Indicadores afectados	Categoría
	Tiempo de preparación <i>Off-line</i>	Tiempo de preparación <i>Crush & Broach</i>	Desperdicio de material		
Material sin especificación	X	X	X	3	Principal
Deterioro de material	X	X	X	3	Principal
Falta de capacitación	X	X	X	3	Principal
Ausencia de instrucciones de trabajo	X	X	X	3	Principal
Producción en lotes grandes	X	X	X	3	Principal
Ajustes y arraques tardíos	X	X	X	3	Principal
Desajuste de máquinas	X	X	X	3	Principal
Falta de orden y limpieza	X	X	X	3	Principal
Falta de clasificación/organización	X	X	X	3	Principal
Falta de identificación	X	X	X	2	Secundaria
Arribo de material tardío	X	X		2	Secundaria
Desconocimiento de procedimientos	X	X	X	2	Secundaria
Desconocimiento de estándar	X	X	X	2	Secundaria
Deficiencia de mantenimiento	X	X	X	2	Secundaria
Variación de característica	X	X		2	Secundaria
Maquinaria antigua falla	X	X	X	2	Secundaria
Falta de herramienta adecuada	X	X	X	2	Secundaria
Ausencia de contenedores	X	X	X	2	Secundaria
Falta de organización	X	X		1	Irrelevante
Rotación frecuente.	X	X		1	Irrelevante
Falta de motivación.			X	1	Irrelevante
Falta de compromiso			X	1	Irrelevante
Lotes de transferencia grandes			X	1	Irrelevante
Falta de instrumentos	X	X		1	Irrelevante
Baja efectividad de mantenimiento			X	1	Irrelevante
Uso erróneo de instrumentos			X	1	Irrelevante
Desconocimiento de estándares			X	1	Irrelevante
Baja capacidad de producción				1	Irrelevante
Falta de espacio material/herramienta.				1	Irrelevante
Mala distribución de células				1	Irrelevante

3.4.3 Realizar mapa, de la situación actual, de la cadena de flujo de valor (VSM) de la línea LP2

Una vez definida la línea de producción objetivo (Sección 3.2.4) y los indicadores a evaluar (Sección 3.3.2), se decidió realizar un mapa de la cadena de valor (VSM), de la situación actual, de la línea de producción LP 2 con el objetivo de obtener un panorama claro, del estado actual, de cada proceso que conforman la línea.

La elaboración del VSM se realizó de acuerdo con las siguientes actividades, las cuales fueron descritas en la Sección 2.1.3:

1. Crear grupo de trabajo para elaborar VSM.
2. Realizar pláticas y reuniones con el grupo de trabajo.
3. Seleccionar el producto objetivo.
4. Determinar procesos a mapear en el VSM de la situación actual.
5. Seleccionar y calcular indicadores para el VSM de la situación actual.
6. Elaborar mapa de la situación actual del producto objetivo.
7. Analizar VSM de la situación actual del producto objetivo.

3.4.3.1 Crear un grupo de trabajo para elaborar un VSM

El primer paso para elaborar el VSM de la situación actual fue la creación del grupo de trabajo, la selección de los miembros del grupo se basó en los siguientes aspectos:

1. Conocimiento sobre la línea de producción LP 2. Comprensión detallada de cada proceso, desde la recepción de materias primas hasta la entrega del producto final.
2. Capacidad para identificar áreas de oportunidad. Habilidad analítica para evaluar los datos y detectar ineficiencias, cuellos de botella y desperdicios.

De acuerdo con estos aspectos, se realizó una plática con el gerente de planta para darle a conocer el beneficio de la elaboración del mapeo de la cadena de valor, y con ello integrarlo al equipo, y al mismo tiempo solicitarle el apoyo para que el supervisor de la línea de producción LP 2 se integrara al grupo de trabajo.

En resumen, el equipo se conformó por el gerente de planta, el supervisor de la línea LP 2 y el autor del presente proyecto, así mismo se contó con el apoyo del personal operativo para la recolección de datos, pero sin estar integrados en el grupo de trabajo.

3.4.3.2 Realizar platicas y reuniones con el grupo de trabajo

El grupo de trabajo organizó platicas y reuniones con el personal operativo que conforma la línea de producción LP 2, con el objetivo de informar el propósito y beneficios de la elaboración del *VSM* del estado actual. Durante estas reuniones se explicó cómo el *VSM* ayudaría a identificar áreas de mejora, además, se destacó que la colaboración de todos sería esencial para el éxito del proyecto.

De las pláticas y reuniones organizadas por el grupo de trabajo se concluyó lo siguiente:

1. Personal operativo dispuesto a colaborar para la elaboración del *VSM*. El personal operativo mostró una actitud positiva y disposición para colaborar en la elaboración del *VSM* de la situación actual. Esto fue fundamental para el éxito del proyecto, por su conocimiento y experiencia en las operaciones de los procesos que conforman la línea LP 2.
2. Personal operativo sin objeciones para la elaboración del *VSM*. El personal operativo no presentó objeciones a la realización del *VSM*, de la situación actual, además, estuvieron de acuerdo en apoyar al grupo de trabajo en sus actividades y permitir el acceso a las distintas áreas y estaciones de trabajo. Esta cooperación facilitó la recopilación de datos cruciales para el desarrollo de un *VSM* efectivo.

3.4.3.3 Seleccionar el producto objetivo

La línea de producción LP 2 se dedica a la fabricación de diversas tijeras, cada una diseñada para satisfacer diferentes necesidades y aplicaciones. Con el fin de evaluar el estado actual y el rendimiento de esta línea de producción, se seleccionó una tijera en particular como producto objetivo. Para seleccionar el producto objetivo, se realizaron las siguientes actividades:

1. Definir factores con la aplicación de una lluvia de ideas.

2. Definir producto objetivo con la aplicación del método por puntos.

3.4.3.3.1 Definir factores con la aplicación de una lluvia de ideas

La selección del producto objetivo se llevó a cabo mediante la aplicación del método por puntos. La definición de factores se llevó a cabo mediante la aplicación de la herramienta lluvia de ideas, en conjunto con el gerente de planta y supervisor de la línea LP 2, utilizando la siguiente metodología:

1. Definir el objetivo principal de la lluvia de ideas: definir factores para la selección del producto objetivo.
2. Designar un moderador. Se designó al supervisor de la línea de producción LP 2 como moderador durante la realización de la actividad.
3. Realizar una lista de los posibles factores a utilizar entre todos los integrantes del equipo de trabajo. El resultado se muestra en la Figura 3.11.
4. Realizar retroalimentación para cada uno de los factores expresados por cada integrante del equipo de trabajo, con el objetivo de mejorar los mismos.

3.4.3.3.2 Definir producto objetivo con la aplicación del método por puntos

Para definir cuál tijera de la línea de producción LP 2 (tijera XYZ, tijera AGX, tijera GSX, tijera BPX), sería seleccionada como producto objetivo para el desarrollo del VSM, de estado actual, se aplicó el método por puntos utilizando los factores obtenidos en la aplicación de la lluvia de ideas (Figura 3.11). La metodología utilizada fue la siguiente:

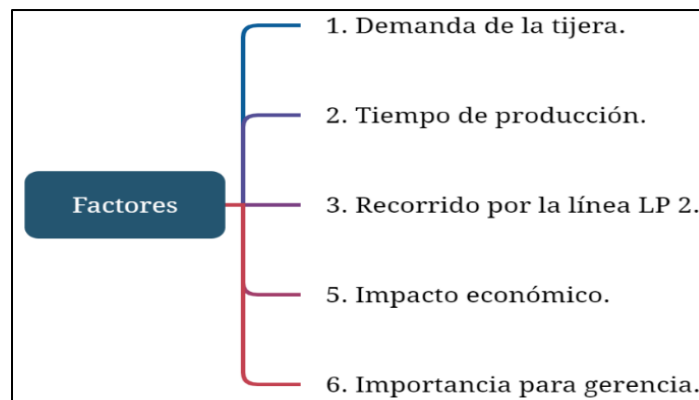


Figura 3.11 Factores lluvia de ideas (Fuente: elaboración propia).

1. Definir equipo de trabajo. El equipo de trabajo, para esta actividad, estuvo conformado por el gerente de planta, el supervisor de la línea de producción LP 2 y el autor del presente proyecto.
2. Selección de factores prioritarios. Definidos los factores para la evaluación de las tijeras producidas en la línea LP 2 (Figura 3.11) se determinó, de acuerdo con la experiencia empírica de cada uno de los integrantes del equipo de trabajo, que todos los factores eran prioritarios.
3. Describir los factores prioritarios. La descripción de cada uno de los factores prioritarios se realizó en una junta con el equipo de trabajo, con el objetivo de obtener diferentes puntos de vista y generar una descripción única, clara y entendible para cada factor. El resultado se muestra en la Tabla 3.17.
4. Asignar puntajes a factores. La asignación de puntajes para los factores prioritarios se realizó con el objetivo de determinar la importancia de cada uno de éstos, utilizando una escala de 0 a 100, en donde el valor de 100 representó la mayor importancia posible y el 0 la menor. El resultado se muestra en la Tabla 3.18.
5. Definir escala para evaluar los factores para el producto objetivo. La escala seleccionada para este paso se conformó por las vocales A, E, I, O, U, donde la letra A representó la mayor puntuación posible y la letra U la menor. El resultado se muestra en la Tabla 3.19.
6. Calificar cada factor para cada tijera. La calificación para cada una de las tijeras se realizó con la escala definida preguntando en cada caso que tan bien cada una de las tijeras cumplían con los factores prioritarios. El resultado, que se colocó en la parte superior de la celda, se muestra en la Tabla 3.20.

Tabla 3.17 Factores prioritarios de producto objetivo (Fuente: elaboración propia).

Factores prioritarios	Descripción
Demanda de la tijera.	Cantidad de unidades solicitadas por el cliente mensualmente.
Tiempo de producción.	Tiempo requerido para satisfacer la demanda del cliente.
Recorrido por la línea LP 2.	Cantidad de procesos por los que pasa la tijera en la línea.
Impacto económico.	Resultado monetario consecuencia de la venta de la tijera.
Importancia para gerencia.	Priorización definida por gerencia de acuerdo a sus intereses.

Tabla 3.18 Puntaje para factores (Fuente: elaboración propia).

Número	Factor prioritario	Puntaje
1	Demanda de la tijera.	100
2	Tiempo de producción.	100
3	Recorrido por la línea LP 2.	90
4	Impacto económico.	85
5	Importancia para gerencia.	80

Tabla 3.19 Escala para evaluación (Fuente: elaboración propia).

Vocal	Significado	Valor
A	Excelente (perfecto).	4
E	Muy bueno (considerablemente bueno).	3
I	Bueno (resultados positivos).	2
O	Mediano (porcentaje de mejora bajo).	1
U	Mediocre (mejora nula).	0
X	Imposible (no aplica o no cumple).	

Tabla 3.20 Método por puntos producto objetivo (Fuente: elaboración propia).

Valoración de las tijeras fabricadas en la línea LP 2					
Fábrica:	Empresa en estudio	Proyecto:	Selección de producto objetivo	Fecha:01/06/24	
Factores	Puntaje	Acotación bruta o ponderada			
		Tijera XYZ	Tijera AGX	Tijera GSX	Tijera BPX
1. Demanda de la tijera.	100	A 400	I 200	I 200	E 300
2. Tiempo de producción.	100	A 400	I 200	I 200	E 300
3. Recorrido por la línea LP 2.	90	A 360	E 270	E 270	A 360
4. Impacto económico.	85	A 340	E 255	E 255	E 255
5. Importancia para gerencia.	80	A 320	E 240	E 240	E 240
TOTALES		1,820	1,165	1,165	1,455

7. Multiplicar los puntajes de cada factor por la calificación de cada tijera. El resultado, que se colocó en la parte inferior de la celda, se mostró en la Tabla 3.20.
8. Sumar los puntajes finales. Se realizó la sumatoria de los puntajes obtenidos por cada tijera con el objetivo de identificar y seleccionar el producto objetivo para el desarrollo del VSM del estado actual de la línea de producción LP 2. El resultado se mostró en la Tabla 3.20.

De acuerdo con la aplicación del método por puntos (Tabla 3.20) y con base en los puntajes obtenidos para cada una de las tijeras evaluadas, se determinó que el producto objetivo ganador es la tijera XYZ, con una puntuación de 1,820 puntos. Por lo tanto, **el producto objetivo** para el desarrollo del VSM de estado actual de la línea LP 2, **fue la tijera XYZ**.

3.4.3.4 Determinar procesos a mapear en el VSM de la situación actual

El mapeo de la cadena de valor fue una herramienta esencial, que permitió visualizar y analizar el flujo de materiales e información, para observar el recorrido de las tijeras XYZ (producto objetivo, determinado en la Sección 3.4.3.3.2) desde el prensado en la línea LP2 (línea objetivo, seleccionada en la Sección 3.2.4.2) hasta el cliente final.

Para lograr esta representación gráfica, precisa y útil, del VSM, fue crucial el seleccionar y determinar adecuadamente los procesos; éstos se muestran en la Figura 3.12, los cuales fueron descritos en la Sección 1.2.10.

3.4.3.5 Seleccionar y calcular indicadores para el VSM del estado actual

Para seleccionar los indicadores a utilizar en el VSM, del estado actual, de la línea LP 2 para la tijera XYZ, se revisaron los indicadores comúnmente utilizados en fuentes de información, que describen como elaboraron el VSM, y los utilizados por la empresa en estudio. Con base en este análisis, el equipo de trabajo seleccionó los siguientes indicadores y llevó a cabo la recolección de datos durante un periodo de tres semanas, en el turno matutino, para calcular cada uno de éstos:

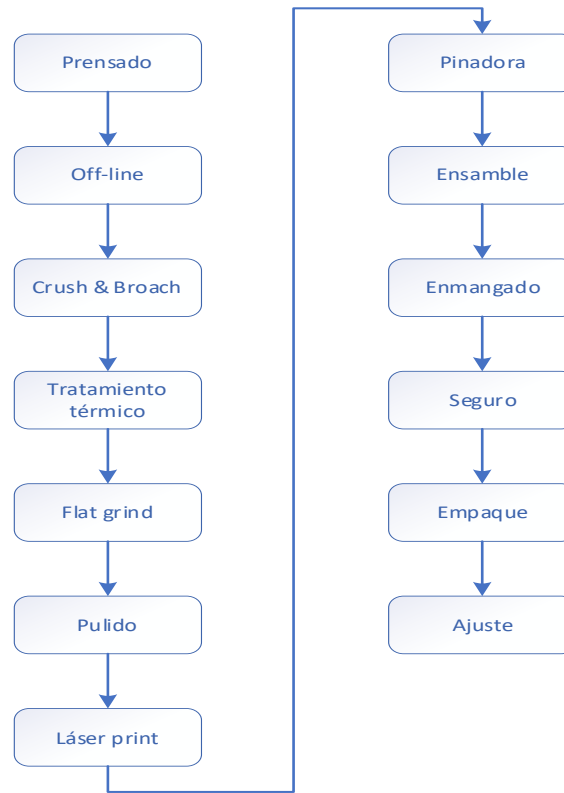


Figura 3.12 Procesos tijera XYZ (Fuente: elaboración propia).

- Tiempo de ciclo (TC). El tiempo de ciclo de cada proceso se definió como el intervalo necesario para procesar una pieza y comenzar con la siguiente. Para calcularlo, se registraron los tiempos de procesamiento de cada proceso y se obtuvo el promedio de estos tiempos.
- Tiempo de ciclo de fabricación (TCF). El tiempo de ciclo de fabricación se definió como el tiempo necesario para producir una unidad de producto desde el inicio hasta la finalización del proceso. Para calcular este tiempo, se promedió el tiempo de procesamiento de cada proceso mediante el registro de los tiempos correspondientes.
- Lote de transferencia (LT). El lote de transferencia se tomó como la cantidad de unidades de producto que se trasladan de un proceso a otro en un solo movimiento. Para calcular este indicador, se tomó el lote de transferencia definido en cada proceso por la empresa en estudio.
- Número de máquinas (NM). El número de máquinas se tomó como la cantidad de máquinas utilizadas para realizar un proceso específico de producción. Este número

se definió, de acuerdo con el número de máquinas observadas en cada uno de los procesos a mapear.

- Número de turnos (NT). El número de turnos se tomó como la cantidad de turnos de trabajo que se realizan en el día por proceso, ya que éste puede variar de un turno a tres por día. Para definir los turnos por proceso se contó con el apoyo del supervisor de la línea LP 2, el cuál es el encargado de definir éstos de acuerdo con la demanda de la línea.
- Número de operadores (NO). El número de operadores se tomó como la cantidad de operadores necesarios en cada proceso para que éste opere correctamente. Este valor se tomó de lo definido por el supervisor de la línea LP 2.
- Tiempo que agrega valor (VA). El tiempo que agregó valor se tomó como el tiempo durante el cual se realizan actividades que transforman el producto. Para su cálculo se realizó la toma y registro de los tiempos por proceso, y se obtuvo el promedio de cada uno.
- Tiempo que no agrega valor (NVA). El tiempo que no agrega valor se tomó como el tiempo dedicado a actividades que no transforman el producto. Para el cálculo de este indicador se obtuvo el promedio del tiempo por proceso, mediante la toma y registro de los tiempos.
- *Takt time*. El *takt time* se tomó como el ritmo de producción necesario para satisfacer la demanda del cliente, se calculó dividiendo el tiempo disponible para la producción entre la demanda del cliente.
- Inventario entre proceso. El inventario entre proceso se tomó como la cantidad de tijeras y forjas en espera de ser procesados que se encuentran en diferentes etapas del proceso de producción de la línea LP 2. Este indicador fue calculado contabilizando las tijeras y forjas en espera entre cada proceso.
- *Lead time*. El *lead time* se tomó como el tiempo total desde que se inicia una orden de producción hasta que la tijera se encuentra lista para ser entregada al cliente final.
- Tiempo disponible. El tiempo disponible se tomó como el tiempo total que se tiene disponible para trabajar en un periodo específico, en el caso de la línea LP 2 se tomaron en cuenta 8 horas de un turno menos 30 minutos de comida y 15 minutos de limpieza; obteniendo 435 minutos de tiempo disponible por turno.

- Demanda mensual. La demanda mensual se tomó como la cantidad de tijeras que se requieren en un mes para satisfacer las necesidades del cliente. En el caso de la tijera XYZ se tomó la demanda mensual definida por el supervisor de la línea LP 2.
- Demanda diaria. La demanda diaria se tomó como la cantidad de tijeras que se necesitan producir cada día para cumplir con la demanda mensual.

En la Tabla 3.21 se muestra el resultado obtenido del cálculo de cada uno de los indicadores seleccionados para la elaboración del VSM del estado actual de la línea LP 2.

3.4.3.6 Elaborar mapa de la situación actual del producto objetivo

Una vez definido el producto objetivo (Sección 3.4.3.3.2), los procesos a mapear (Sección 3.4.3.4) y habiendo calculado los indicadores del VSM (Sección 3.4.3.5), se llevaron a cabo los siguientes pasos para elaborar el VSM, del estado actual, del procesamiento de la tijera XYZ, basándose en la metodología descrita en la 2.1.3.3.

Tabla 3.21 Indicadores VSM (Fuente: elaboración propia).

Indicadores VSM estado actual										
Proceso	TC	TCF	LT	NM	NT	VA	NVA	Takt time	WIP	NO
	min/ tijera	min/ tijera	pza	máq/ proc	turnos/ proc	min/ tijera	min/ tijera	min/ tijera	pzs/ proc	Operador /proc
Prensado	0.219	0.219	3200	1	1	0.116	0.103	1.8	3200	1
Off line	0.277	0.992	2	6	2	0.521	0.471	1.8	---	1
Crush & Broach	0.316	1.258	1600	5	2	0.814	0.444	1.8	1600	1
Tratamiento térmico	0.375	0.375	1600	4	3	240	60.000	1.8	1600	1
Flat grind	0.216	13.560	1600	1	2	7.680	5.880	1.8	1600	1
Pulido	0.139	0.139	1600	2	2	0.109	0.030	1.8	800	2
Láser print	0.270	0.270	800	1	2	0.173	0.153	1.8	800	1
Pinadora	0.109	0.109	800	1	2	0.024	0.084	1.8	800	1
Ensamble	0.396	0.396	1	1	1	0.173	0.224	1.8	200	1
Ajuste	0.340	0.340	200	1	2	0.114	0.225	1.8	200	1
Enmangado	0.232	0.232	800	2	2	0.084	0.147	1.8	800	1
Seguro	0.330	0.330	200	1	2	0.120	0.210	1.8	200	1
Empaque	0.496	0.496	800	1	2	0.199	0.294	1.8	800	1

1. Se representaron gráficamente los símbolos correspondientes al cliente y proveedor, así como el símbolo de control de producción. También se ilustraron los medios de transporte utilizados para recibir la materia prima y enviar el producto terminado al cliente. Además, se indicó el tiempo disponible y la demanda diaria, semanal y mensual que la empresa en estudio debe satisfacer. El resultado se muestra en la Figura 3.13.

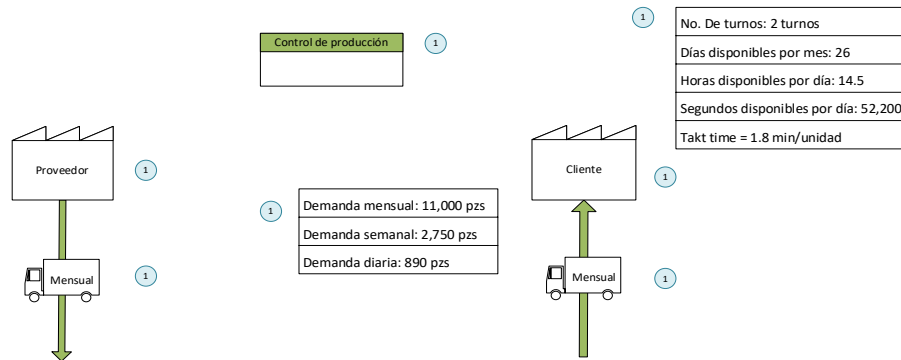


Figura 3.13 Paso 1 de la elaboración del VSM del estado actual (Fuente: elaboración propia).

2. Se representaron los símbolos correspondientes a cada uno de los procesos de la línea LP 2 para la tijera XYZ, incluyendo su respectiva caja de datos, de izquierda a derecha siguiendo como referencia lo descrito previamente en la Figura 3.12. Asimismo, se añadió el símbolo de inventario entre procesos. El resultado se muestra en la Figura 3.14.

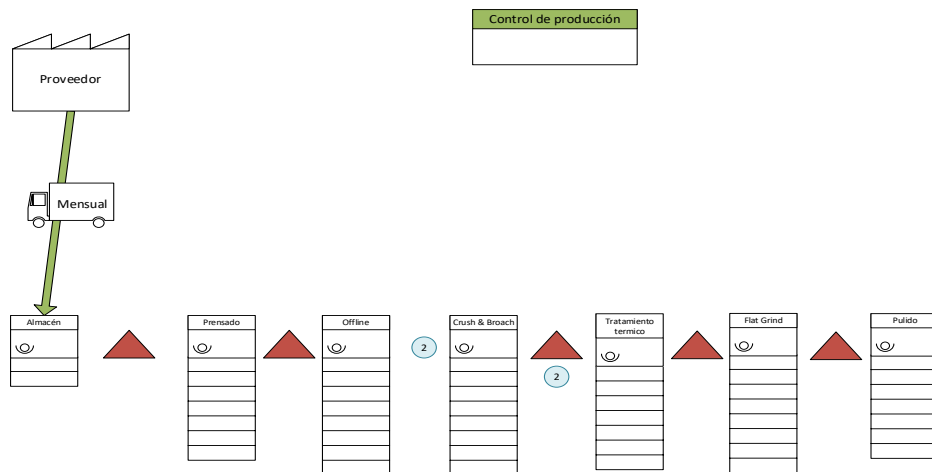


Figura 3.14 Paso 2 de la elaboración del VSM del estado actual (Fuente: elaboración propia).

3. Se realizó el llenado de las cajas y cuadros de datos de cada proceso con la información de los indicadores que fueron calculados en la Sección 3.4.3.5 (Tabla 3.21). El resultado se muestra en la Figura 3.15.

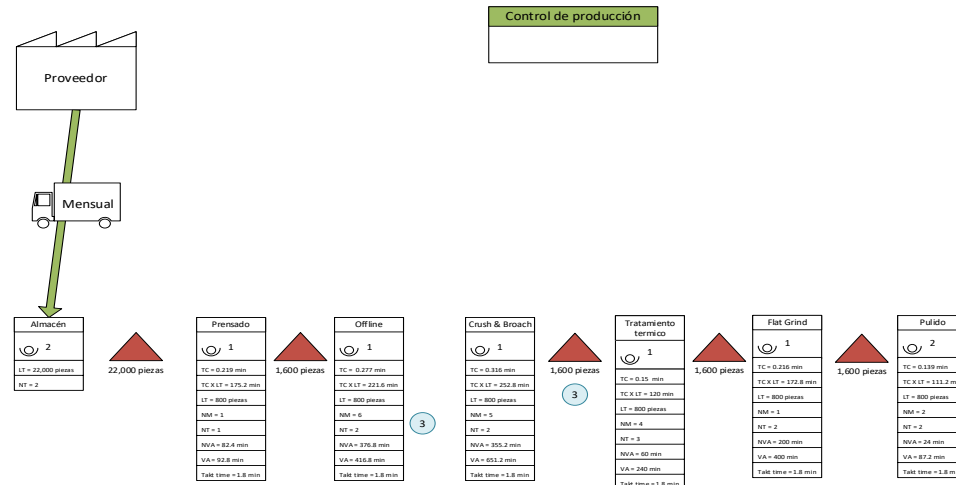


Figura 3.15 Paso 3 de la elaboración del VSM del estado actual (Fuente: elaboración propia).

4. Se representaron las flechas correspondientes a cada medio de información utilizado en la línea, tanto personal como electrónico, indicando sobre las flechas su frecuencia. Asimismo, se dibujaron las flechas que representan el flujo del proceso, que para la tijera XYZ estas flechas siguen un sistema *push*. El resultado se muestra en la Figura 3.16.

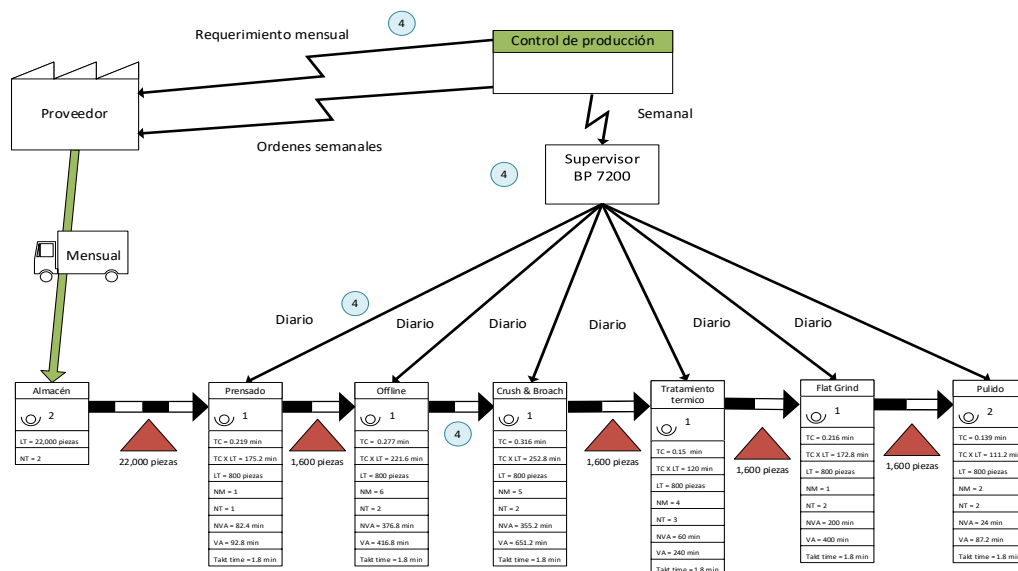


Figura 3.16 Paso 4 de la elaboración del VSM del estado actual (Fuente: elaboración propia).

- Se representó la línea de tiempo, debajo de las cajas de datos de los procesos. En esta línea de tiempo se colocó el resultado de multiplicar el tiempo de ciclo en minutos por el lote de transferencia real de cada uno de los procesos. El resultado se muestra en la Figura 3.17.
- Se convirtieron los inventarios entre procesos a *lead time* dividiendo el inventario entre la demanda diaria. El resultado se muestra en la Figura 3.17.

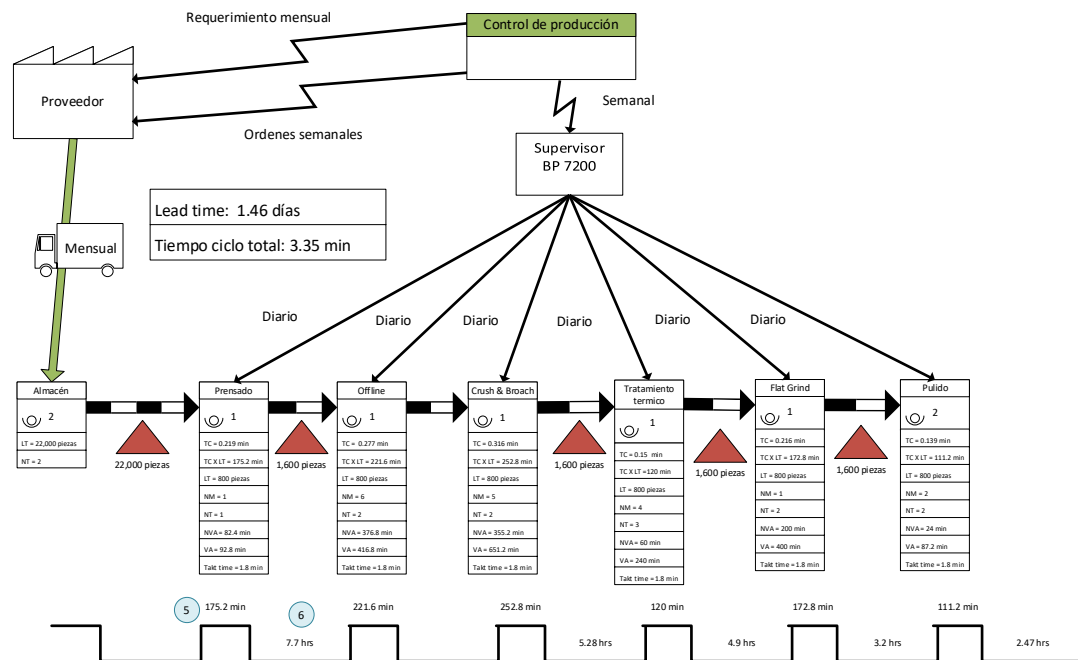


Figura 3.17 Paso 5 y 6 de la elaboración del VSM del estado actual (Fuente: elaboración propia).

- Se realizó la sumatoria del *lead time* y se colocó el resultado al final de la línea de tiempo. El resultado se muestra en la Figura 3.18.
- Se realizó la sumatoria de los tiempos de ciclo de los procesos para obtener el tiempo de fabricación de un lote de tijeras XYZ (200 tijeras), y se colocó el resultado al final de la línea de tiempo. El resultado se muestra en la Figura 3.18.

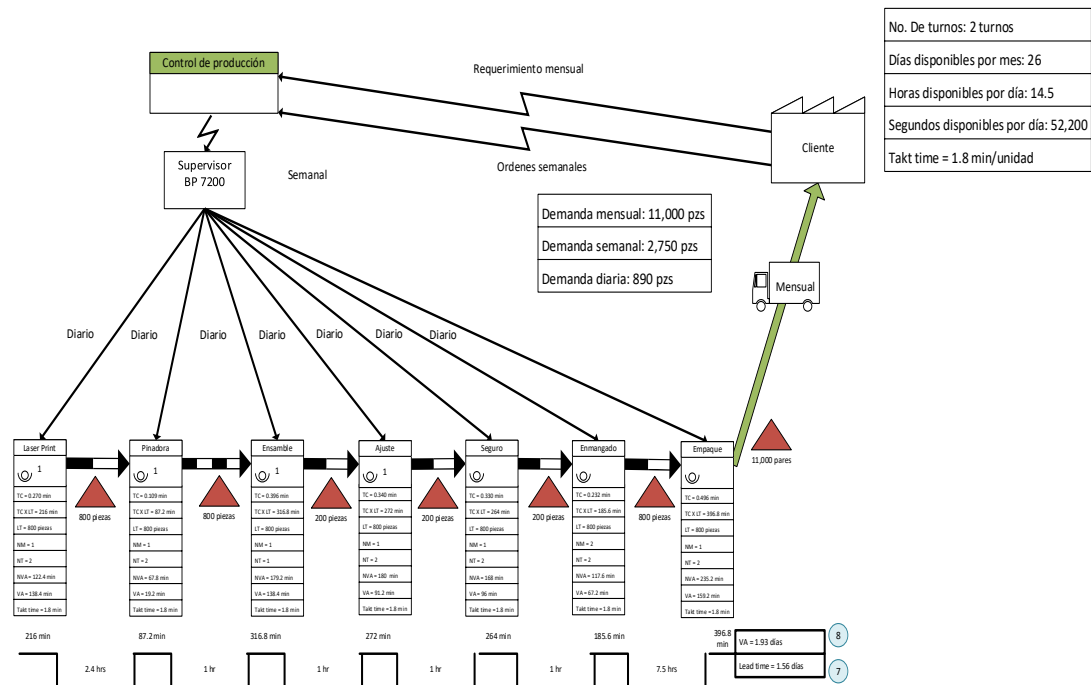


Figura 3.18 Paso 7 y 8 de la elaboración del VSM del estado actual (Fuente: elaboración propia).

El VSM del estado actual de la línea LP 2 de la tijera XYZ, se obtuvo después de realizar los pasos anteriormente descritos, el resultado final se muestra en la Figura 3.19 y Figura 3.20.

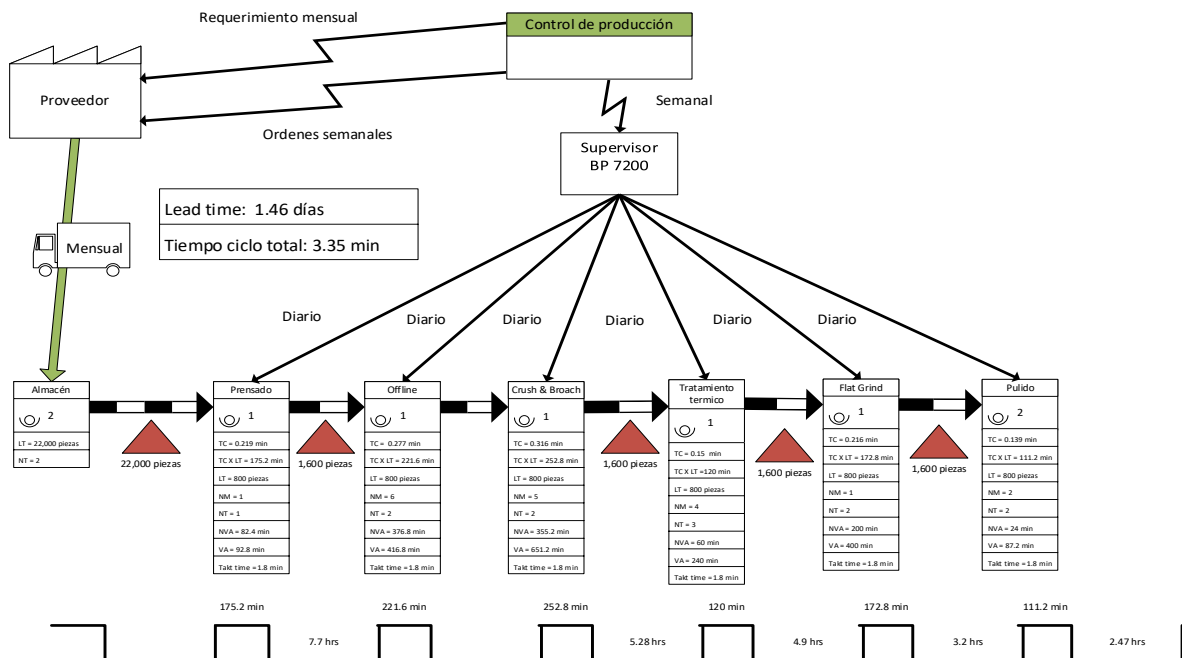


Figura 3.19 VSM estado actual parte 1 (Fuente: elaboración propia).

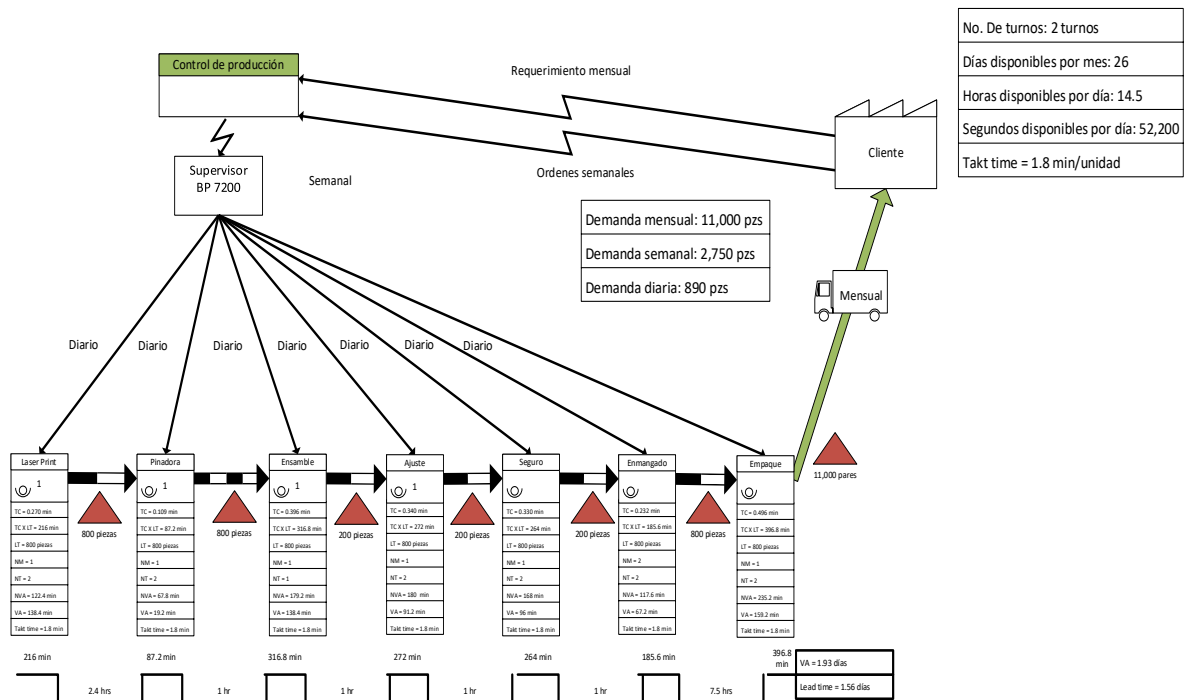


Figura 3.20 VSM estado actual parte 2 (Fuente: elaboración propia).

3.4.3.7 Analizar VSM de la situación actual del producto objetivo

De acuerdo con el análisis del VSM, de la situación actual, de la tijera XYZ (Figura 3.19 y Figura 3.20) se determinó lo siguiente:

- Existe exceso de inventario entre proceso en la mayoría de los procesos de fabricación: Sólo el proceso *Crush & Broach* no tiene.
- Los procesos con mayor tiempo de procesamiento del inventario en proceso, y que son considerados cuellos de botella, fueron:
 - *Off line* con 7.7 hrs. para procesar 1600 piezas.
 - *Empaque* con 7.5 hrs. para procesar 1600 piezas.
 - *Flat grind* con 4.9 hrs. para procesar 800 piezas.
- Los procesos con mayor tiempo de ciclo por lote de 800 piezas fueron:
 - Ensamble con 316.8 min.
 - Ajuste con 272 min.
 - Empaque con 396.8 min.
- Los procesos con un mayor tiempo de valor no agregado, por lote de transferencia, fueron:

- *Off line* con 376.8 min (6.2 hrs).
- *Crush & Broach* con 355.2 min (5.96 hrs.).
- Empaque con 235.2 min (3.92 hrs.).
- Los procesos con mayor tiempo de *setup* fueron:
 - *Off line* con 15.15 minutos.
 - *Crush & Broach* con 14.17 minutos.
- La sumatoria de los tiempos de ciclo, considerando los lotes de transferencia para cada proceso de producción de la tijera XYZ, fue de 2,792 min (46.5 hrs. o 1.93 días) por 800 tijeras.
- El *lead time* fue de 1.56 días lo que indica que en promedio se tienen 1.56 días de inventario de tijeras XYZ.

Con base en estas observaciones se llevó a cabo una reunión con el gerente de planta y equipo de trabajo, de la empresa en estudio, en la que se presentó el resultado del análisis del VSM, de la situación actual, de la línea LP 2, correspondiente a la tijera XYZ. Con base en este análisis se concluyó que los procesos con mayor oportunidad de mejora son los denominados "*Off-line*" y "*Crush & Broach*" por las siguientes razones:

- Ambos procesos comparten la misma estación de trabajo, lo que facilitaría la implementación de mejoras.
- El proceso *Off-line* tiene uno de los inventarios entre proceso muy grandes: 1,600 piezas, en la entrada de éste.
- Ambos procesos, al compartir la misma estación de trabajo:
 - Se trabajan como si fuera un solo proceso convirtiendo los procesos en un cuello de botella.
 - En conjunto representan el mayor tiempo de ciclo por lote de 800 piezas: 474.4 min equivalentes a 7.9 hrs)
 - Representan un área de oportunidad.
- Ambos procesos tienen los tiempos de *setup* más largos, debido a la falta de herramientas necesarias y a la insuficiente capacitación del personal operativo para realizar los cambios de cortadores en las máquinas.

- Ambos procesos, al presentar baja calidad de acabado en las tijeras, son una necesidad de mejora para el gerente de planta ya que se tiene el objetivo de aumentar el tiempo disponible de sus máquinas.
- Ambos procesos, al no tener calculado el tiempo de desgaste de los cortadores de las máquinas ocasionan cambios de cortadores no programados, daños en las tijeras y, por consiguiente, *scrap* de tijeras.
- Ambos procesos presentan algunos los tiempos que no agregan valor, más significativos, lo que indica que las máquinas no se están utilizando en todo su tiempo disponible, ya que sólo hay dos operadores para un total de 11 máquinas en la estación de trabajo.

3.5 Mejorar indicadores

Para mejorar los indicadores que afectan a la productividad de la línea LP 2, descritos en la Sección 3.3.2, se realizaron las siguientes actividades:

- Determinar técnicas de *lean manufacturing* para mejorar los indicadores.
- Definir orden de implementación de técnicas seleccionadas.
- Aplicar trabajo estandarizado.
- Aplicar las 5S.
- Aplicar *SMED*.

3.5.1 Determinar técnicas de *lean manufacturing* para mejorar los indicadores

Para determinar que técnicas de *lean manufacturing* se implementarían, para solucionar las causas raíz de los problemas que repercuten en los indicadores que afectan a la productividad de la línea de producción LP 2, se realizó lo siguiente:

- Se elaboró la Tabla 3.22 y la Tabla 3.23 con base en la Tabla 3.16, donde se enlistan las causas raíz principales y secundarias, la posible solución y las técnicas de *lean manufacturing* que hacen posible la solución propuesta.

- Se elaboró la Tabla 3.24 donde se reúnen las técnicas mencionadas en la Tabla 3.22 y la Tabla 3.23 y el número de causas raíz que soluciona cada una.
- Se realizó la Tabla 3.25 donde se calculó la frecuencia, frecuencia acumulada, peso relativo y peso relativo acumulado para realizar el diagrama de Pareto.
- Se realizó un diagrama de Pareto (Figura 3.21) de acuerdo con la información de la Tabla 3.25, con el objetivo de identificar las técnicas de mejora a utilizar.

Tabla 3.22 Técnicas de mejora para dar solución a las causas principales (Fuente: elaboración propia).

Causa raíz principal	Solución	Técnica de mejora
Material fuera de especificación	Mejorar los procesos de calidad	• Circulo de Deming • Trabajo estandarizado
Deterioro de material	Capacitación acerca de las 5S 's y aplicación de las mismas.	• Las 5S
Falta de capacitación	Capacitar al personal operativo.	• Las 5S. • SMED. • Trabajo estandarizado.
Ausencia de instrucciones de trabajo.	Realizar y desplegar instrucciones en la línea LP 2.	• Trabajo estandarizado.
Producción en lotes grandes	Simular escenarios con lotes de transferencia menores.	• Simulación • Justo a tiempo
Desajuste de máquinas.	Capacitar al personal para realizar ajustes rápidos.	• SMED. • Simulación
Ajustes y arranque de máquinas tardíos.	Capacitación sobre los equipos y como utilizarlos.	• SMED. • Simulación
Falta de orden y limpieza en las estaciones de trabajo.	Introducir el hábito de orden y limpieza en el personal operativo.	• Las 5S.
Falta de clasificación y orden en las estaciones de trabajo.	Capacitar al personal sobre la clasificación y orden.	• Las 5S.

- Se determinó de acuerdo con el diagrama de Pareto (Figura 3.21), que las técnicas que generarían mayor impacto, y que por lo tanto se implementarían para la mejora de los indicadores de la línea LP 2, son las siguientes: Las 5S, trabajo estandarizado y *SMED*.

Tabla 3.23 Técnicas de mejora para dar solución a las causas secundarias (Fuente: elaboración propia).

Causa raíz secundaria	Solución	Técnica de mejora
Falta de identificación del material	Realizar etiquetas y pegar	• Las 5S
Arribo de material tardío	Simular diferentes rutas de traslado	• Simulación • <i>SMED</i> • <i>Justo a tiempo</i>
Desconocimiento de los procedimientos de trabajo	Desplegar hojas de trabajo estandarizado en la línea	• Trabajo estandarizado
Desconocimiento de los estándares de calidad	Capacitación de calidad a los operadores	• Circulo de Deming • Las 5S • Trabajo estandarizado
Deficiencia del mantenimiento a las máquinas	Definir estrategias de cuidado para las máquinas	• Las 5S • <i>SMED</i>
Variación de las características del material	Identificar los lotes de piezas y reportarlos	• Las 5S • Trabajo estandarizado
Maquinaria antigua genera fallas	Realizar mantenimiento preventivo	• Mantenimiento preventivo • <i>SMED</i>
Falta de herramienta adecuada	Identificar y entregar la herramienta a los operadores	• Las 5S
Ausencia de contenedores para materiales	Identificar y entregar contenedores	• Las 5S

Tabla 3.24 Importancia de técnicas de mejora (Fuente: elaboración propia).

Técnica de mejora	Cantidad de causas raíz que soluciona
Las 5S.	10
SMED.	6
Trabajo estandarizado.	6
Simulación.	4
Justo a tiempo.	2
Circulo de Deming	2
Mantenimiento preventivo	1

Tabla 3.25 Datos para diagrama de Pareto (Fuente: elaboración propia).

Causa	Frecuencia	Frec. acumulada	Peso relativo	Peso relt. acumulado	80-20
Las 5S	10	10	32%	32%	80%
SMED	6	16	19%	52%	80%
Trabajo estandarizado	6	22	19%	71%	80%
Simulación	4	26	13%	84%	80%
Justo a tiempo	2	28	6%	90%	80%
Circ. Deming	2	30	6%	97%	80%
Mant. Prevn.	1	31	3%	100%	80%

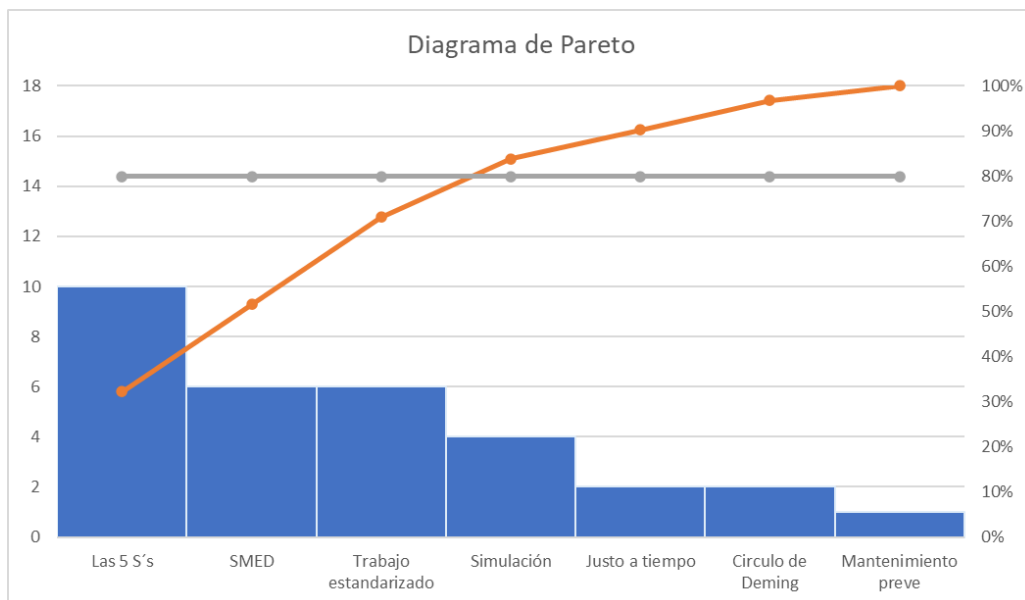


Figura 3.21 Diagrama de Pareto técnicas de mejora (Fuente: elaboración propia).

3.5.2 Definir orden de implementación de técnicas seleccionadas

Una vez identificadas las técnicas de *lean manufacturing* que abordan un mayor número de causas raíz (Sección 3.5.1), se definió un orden para su implementación. Para ello, se llevó a cabo una reunión con el supervisor de dicha línea, donde se concluyó que el orden para aplicar dichas técnicas para mejorar los indicadores que afectan la productividad de la línea de producción LP 2 (Sección 3.3.1) sería la siguiente:

1. Trabajo Estandarizado: Con el establecimiento del trabajo estandarizado se buscará establecer procesos consistentes y repetibles, lo que reducirá la variabilidad y los errores. Por esta razón se buscará que los operadores sigan los métodos establecidos para mejorar la calidad del producto, la productividad y la identificación de oportunidades de mejora continua.
2. Las 5S: Con la implementación de las 5S se buscará mantener el área de trabajo ordenada y limpia, con la finalidad de mejorar la seguridad, la eficiencia y reducir el tiempo perdido por búsqueda de herramientas o materiales. Asimismo, se buscará generar un entorno organizado que facilite el flujo de trabajo y mejore el estado de ánimo del personal, al tiempo que se promueve una cultura de disciplina y mantenimiento continuo de las mejoras implementadas.
3. *SMED*: Con la implementación de *SMED* se buscará reducir los tiempos de cambio de herramienta o *setup*, para aumentar el tiempo efectivo de producción. Con *SMED* se buscará incrementar la flexibilidad para producir lotes más pequeños sin perder eficiencia, responder mejor a la demanda variable y minimizar el tiempo de inactividad de la línea impactando directamente en la productividad.

3.5.3 Establecer trabajo estandarizado en la línea LP 2

En la línea de producción LP 2, se ha identificado la necesidad de tener el trabajo estandarizado con el objetivo de reducir el desperdicio de material (Sección 3.3.5) a través de la reducción de la variabilidad en las actividades diarias y la capacitación de nuevos operarios. Para establecer el trabajo estandarizado, en la línea de producción LP 2, se realizaron las siguientes actividades:

1. Identificar procesos y el propósito del trabajo estandarizado.
2. Desglosar los procesos en pasos secuenciales.
3. Definir actividades para obtener los tiempos de ciclo de cada proceso.
4. Determinar tiempos de ciclo de los procesos de la línea de producción LP 2.
5. Identificar herramientas y equipo de protección personal (EPP).
6. Identificar elementos visuales para las hojas de trabajo estandarizado.
7. Definir hojas de trabajo estandarizado.
8. Validar las hojas de trabajo estandarizado con el equipo de trabajo.
9. Implementar las hojas de trabajo estandarizado en los procesos.

3.5.3.1 Identificar procesos y el propósito del trabajo estandarizado

El primer paso para tener el trabajo estandarizado fue identificar claramente todos los procesos de la línea LP 2 (Figura 3.22) y definir el propósito de la actividad, los límites de los procesos y las actividades necesarias.

- Propósito de la actividad. Se estableció una guía que aseguró la correcta ejecución del proceso, con el objetivo de reducir el desperdicio de material, a través de hojas de trabajo estandarizado en la línea de producción LP 2.
- Límites de los procesos. Se especificó el inicio y fin de las actividades de cada proceso para evitar ambigüedades, con el objetivo de evitar confusiones entre el personal operativo y facilitar la capacitación de nuevos operadores en los distintos procesos de la línea de producción LP 2.
- Actividades necesarias. Se definió cada paso relevante que fue parte del estándar, esto evitó sobrecargar la hoja con tareas no esenciales, y a su vez facilitó la lectura y entendimiento de los documentos (hojas de trabajo estandarizado), en los diferentes procesos de la línea de producción LP 2.

3.5.3.2 Desglosar los procesos en pasos secuenciales

Este paso consistió en dividir cada proceso de la línea LP 2 en actividades simples y claras: verificación, preparación y operación; con el objetivo de garantizar que cada actividad fuera comprensible para el personal operativo y fácil de ejecutar. Cuatro procesos se muestran en las Tabla 3.26 a Tabla 3.29.

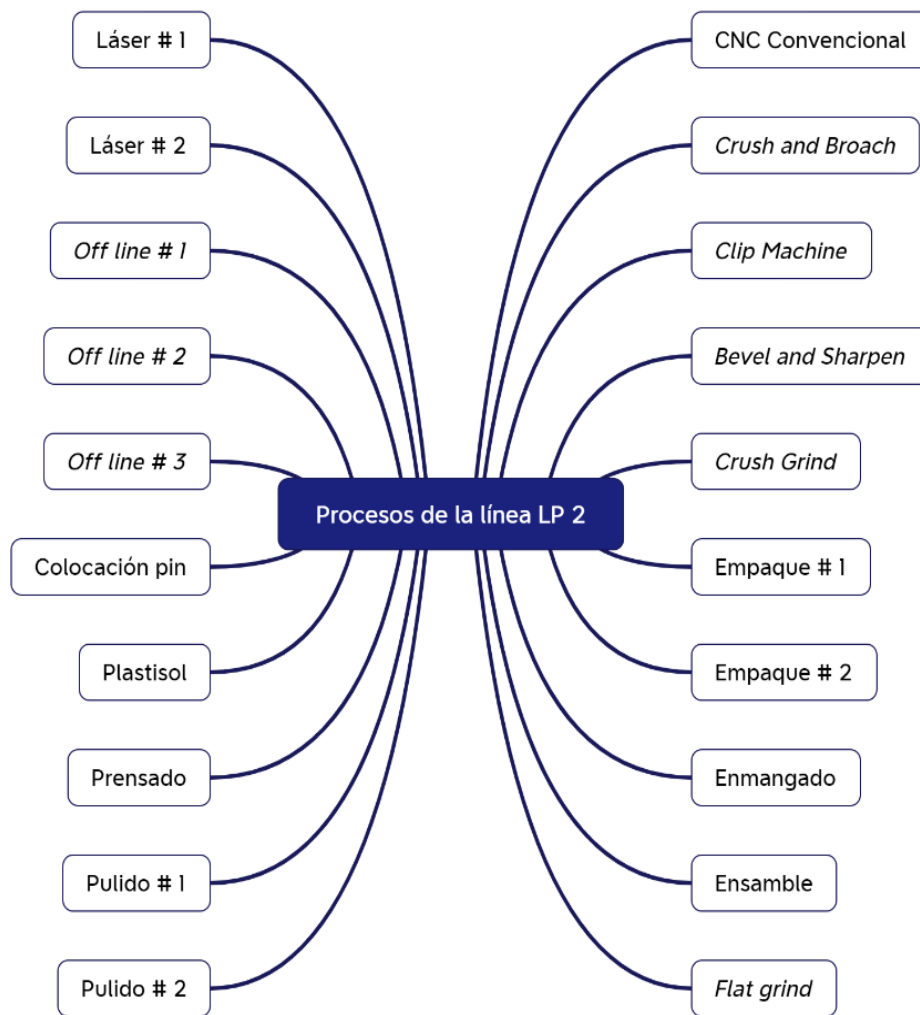


Figura 3.22 Procesos que conforman la línea de producción LP 2 (Fuente: elaboración propia).

3.5.3.3 Definir actividades para obtener los tiempos de ciclo de cada proceso

Para determinar los tiempos de ciclo de los 20 procesos que conforman la línea LP 2 y que se mostraron previamente en la Figura 3.22, se llevó a cabo la medición de cada uno de ellos. Las siguientes actividades se realizaron para determinar los tiempos de ciclo de los 20 procesos:

- Medición de tiempos de ciclo preliminares.
- Cálculo de número de ciclos óptimos.
- Medición de tiempos de ciclos faltantes.

Tabla 3.26 Pasos Bevel and Shapen (Fuente: elaboración propia).

Proceso	Pasos secuenciales
<i>Bevel and Sharpen</i>	Actividades de verificación:
	1. El operador debe portar EPP indicado en SMAT.
	2. Revisar que el área de trabajo se encuentre en condiciones para comenzar operaciones.
	Actividades de preparación:
	3. Aflojar tornillos de sujeción.
	4. Retirar piedra gastada.
	5. Colocar piedra nueva y atornillar.
	Actividades de operación:
	6. Correr programa de rectificado de piedra (Programa No. 4).
	7. Medir piedra con el programa No.2.
	8. Colocar Jig de referencia indicada.
	9. Bajar guarda y salpicadera.
	10. Buscar programa de referencia y seleccionar.
	11. Realizar un ciclo en vacío (para verificar funcionamiento de máquina y piedra).
	12. Colocar forja en el Jig para realizar la operación.
	13. Retirar la pieza del Jig y sumergir en el líquido antioxidante.
	14. Repetir esta operación hasta que la máquina requiera un ajuste.
	15. Llenar formato de auto control.

Tabla 3.27 Pasos Clip Machine (Fuente: elaboración propia).

Proceso	Pasos secuenciales
<i>Clip Machine</i>	Actividades de verificación:
	1. El operador debe portar EPP indicado en SMAT.
	2. Revisar que el área de trabajo se encuentre en condiciones para comenzar operaciones.
	Actividades de preparación:
	3. Retirar paro de emergencia de la máquina de clip.
	Actividades de operación:
	4. Tomar pieza y colocar clip de abajo hacia arriba.
	5. Se coloca la pieza sobre la base evitando que el clip se mueva.
	6. Se accionan las botoneras que se encuentran a los costados de la máquina para que baje el remachador.
	7. Llenar formato de auto control.

Tabla 3.28 Pasos CNC (Fuente: elaboración propia).

Proceso	Pasos secuenciales
CNC Conven- cional	Actividades de verificación:
	1. El operador debe portar EPP indicado en SMAT.
	2. Revisar que el área de trabajo se encuentre en condiciones para comenzar operaciones.
	Actividades de preparación:
	3. Encender la máquina en tablero eléctrico (botoneras) frente al equipo.
	4. Verificar si se tiene material para iniciar el proceso.
	Actividades de operación:
	5. Verificar distancias entre el carro y la piedra con la máquina parada.
	6. Activar el equipo haciendo girar la piedra abrasiva.
	7. Colocar material en el <i>Jig</i> para rectificar la cara plana de la tijera.
	8. Verificar que no tenga ningún tipo de poros la cara rectificadora.
	9. Transportar la herramienta a la segunda máquina que le dará el segundo rectificado.
	10. Transportar a la tercera máquina que dará el ángulo adecuado para corte según los parámetros.
	11. Verificar que el ángulo del filo sea el adecuado.
	12. Colocar las forjas rectificadas en rustbeto.
	13. Llenar formato de auto control.

Tabla 3.29 Pasos Crush and Broach (Fuente: elaboración propia).

Proceso	Pasos secuenciales
<i>Crush and Broach</i>	Actividades de verificación:
	1. El operador debe portar EPP indicado en SMAT.
	2. Revisar que el área de trabajo se encuentre en condiciones para comenzar operaciones.
	Actividades de preparación:
	3. Encender la lampara para trabajar dentro del área de C&B.
	4. Tener a la mano GALGAS de inspección.
	5. Quitar el paro de emergencia y accionar los interruptores de encendido de las piedras.
	6. Encender la bomba y abrir las válvulas para que salga el refrigerante (Asegurarse que la válvula de succión este abierta).
	Actividades de operación:
	7. Encender la maquina brochadora.
	8. Correr piezas de muestra para su inspección.
	9. Ajustar ángulo del Crush en caso que lo requiera.
	10. Correr piezas de muestra para inspección y liberación de proceso de C&B.
	11. Tomar Hook de Off line y colocarla en el corte de 90 grados.
	12. Retirar la pieza y colocar ésta en el barrenado del lock (1/16").
	13. Retirar la pieza y colocar ésta en la rima (1/16").
	14. Retirada la pieza, empezar con el proceso de Crush and Broach y validar el ajuste.
	15. Llenar formato de auto control.

3.5.3.3.1 Medición de tiempos de ciclo preliminares

La medición de tiempos de ciclo preliminares se realizó a través de la observación y toma de tiempos utilizando un cronómetro, así como lápiz y papel para registrar las lecturas.

Para cada proceso se tomaron lecturas de diez ciclos del tiempo en el que el personal operativo llevaba a cabo el proceso de prensado bajo condiciones normales, con el objetivo de obtener una muestra preliminar, y con base en ella, realizar el cálculo del número de ciclos óptimos.

La Tabla 3.30 muestra el resultado de las lecturas de tiempo, obtenidas de los diez ciclos tomados en el proceso de presado.

3.5.3.3.2 Cálculo de número de ciclos óptimos

El cálculo del número de ciclos óptimo se realizó utilizando el método estadístico por fórmula directa (Ecuación 3.7).

$$n = \left[\frac{40\sqrt{n' \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right]^2 \dots\dots\dots (3.7)$$

Tabla 3.30 Tiempos del proceso de prensado (Fuente: elaboración propia).

Ciclo	Lectura de tiempo (segundos)	x ²
1	7.8	60.84
2	8.1	65.61
3	8.0	64
4	7.9	62.41
5	7.7	59.29
6	8.2	67.24
7	7.8	60.84
8	8.0	64
9	7.9	62.41
10	7.9	62.41
Sumatoria	$\sum x = 79.3$	$\sum x^2 = 629.05$

Donde:

n = Tamaño de la muestra a obtener.

n' = Número de observaciones del estudio preliminar.

$\sum$ = Sumatoria de valores.

Para realizar el cálculo del número de ciclo óptimos se realizaron los siguientes pasos:

1. Se realizó la Tabla 3.30 para obtener $\sum x$ y $\sum x^2$.
2. Se sustituyeron en la Ecuación 3.7, los valores obtenidos en el paso 1 (Tabla 3.30).
El resultado se muestra en la Ecuación 3.8.

$$n = \left[\frac{40\sqrt{(10)(629.05) - (79.3)^2}}{(79.3)} \right]^2 = 0.511 \approx 1 \text{ ciclo (3.8)}$$

3. Se determinó de acuerdo con la Ecuación 3.8 que el número de ciclos para que el estudio tenga validez es de 1.

3.5.3.3.3 Medición de tiempos de ciclos faltantes

Dado a que el número óptimo de ciclos es igual a uno (Sección 3.5.3.3.2), no fue necesario realizar mediciones adicionales. Por lo tanto, se utilizaron los datos registrados en la Tabla 3.30 a partir de los cuales se determinó que el tiempo de ciclo del proceso de prensando es de 7.93 segundos (Ecuación 3.9).

$$\text{Tiempo de ciclo} = \frac{7.8+8.1+8.0+7.9+7.7+8.2+7.8+8.0+7.9+7.9}{10} = 7.93 \text{ segundos (3.9)}$$

3.5.3.4 Determinar tiempos de ciclo de los procesos de la línea de producción LP 2

Los tiempos de ciclo de cada proceso de la línea LP 2 (Figura 3.22) fueron obtenidos a través de los pasos listados en la Sección 3.5.3.4, obteniendo así los tiempos de ciclo registrados en la Tabla 3.31.

Tabla 3.31 Tiempos de ciclo de los procesos de la línea de producción LP 2 (Fuente: elaboración propia).

Proceso	Tiempo ciclo (Segundos)
Láser # 1	10.2
Láser # 2	11.16
Off line # 1	37.8
Off line # 2	51.42
Off line # 3	17.14
Colocación pin	19.08
Plastisol	180.5
Prensado	7.93
Pulido # 1	7.92
Pulido # 2	8.64
CNC Convencional	33.48
<i>Crush and Broach</i>	24.48
<i>Clip Machine</i>	13.32
<i>Bevel and Sharpen</i>	38.29
<i>Crush Grind</i>	9.36
Empaque # 1	31.30
Empaque # 2	42.84
Enmangado	29.88
Ensamble	51.48
<i>Flat grind</i>	27.6

3.5.3.5 Identificar herramientas y equipo de protección personal (EPP)

Para identificar las herramientas y equipo de protección personal (EPP) utilizados en cada uno de los procesos fue necesario entrevistar al personal operativo y revisar los datos de procesamiento de cada tijera en la base de datos de la empresa.

El objetivo de esto fue identificar con exactitud el nombre y las medidas de las herramientas y EPP utilizados, evitando así confusiones entre el personal operativo o posibles ambigüedades. Una sección del resultado se muestra en la Tabla 3.32 y Tabla 3.33. En estas tablas se muestran los registros de las herramientas y EPP utilizados en cuatro procesos.

Tabla 3.32 Herramientas y EPP Off line #1 y Crush Grind (Fuente: elaboración propia).

Proceso	Herramientas y EPP utilizados
<i>Off line # 1</i>	1. Mascarilla. 2. Guantes. 3. Gafas. 4. Mandil. 5. Broca 17/64". 6. Broca letra O. 7. Cortador anular 3/8-24 THD. 8. Broca doble corte 1/2 (0.5x0.316). 9. Cortador 8mm vertical 4F Carb.Tugs. 10. Cortador 1/8" vertical 4F Carb.Tugs. 11. Broca 1.5 mm. 12. Rima 0.0615 MC Master.
<i>Crush Grind</i>	1. Mascarilla. 2. Guantes. 3. Gafas. 4. Mandil. 5. Rueda crush punta 068. 6. Rueda crush interior 075. 7. Brocha tipo C 83202.

Tabla 3.33 Herramientas y EPP Off line #3 y Crush and Broach (Fuente: elaboración propia).

Proceso	Herramientas utilizadas
<i>Off line # 3</i>	1. Mascarilla. 2. Guantes. 3. Gafas. 4. Mandil. 5. Broca "F". 6. Avellanador 5/8". 7. Cortador 1 1/2" o 3/4 L.H. 8. Broca doble corte 1/2 (0.5x0.316). 9. Broca #20. 10. Avellanador 5/8".
<i>Crush and Broach</i>	1. Mascarilla. 2. Guantes. 3. Gafas. 4. Mandil. 5. Rueda crush punta 035. 6. Rueda crush interior 028. 7. Brocha tipo A 52602.

3.5.3.6 Identificar elementos visuales para las hojas de trabajo estandarizado

Para facilitar la rápida asimilación de la información en conjunto con las instrucciones de trabajo se identificaron elementos visuales (imágenes, figuras y colores) a incluir en las hojas de trabajo estandarizado. La Figura 3.23 muestra gráficos relacionados con el EPP, los riesgos del proceso y las 5S, mientras que la Figura 3.24 muestra fotos del proceso *Flat grind* como ejemplo.



Figura 3.23 Elementos gráficos (Fuente: elaboración propia).



Figura 3.24 Fotos del proceso Flat Grind (Fuente: la empresa en estudio)

3.5.3.7 Definir hojas de trabajo estandarizado

Para definir las hojas de trabajo estandarizado, se tomó en cuenta que el personal operativo no siempre puede manipular las hojas para revisarlas, por este motivo se decidió que toda la información se concentrará en una sola hoja para cada proceso y fuera impresa en un tamaño considerable para facilitar su lectura.

De este modo se propuso el formato que se muestra en Figura 3.25, la misma muestra como ejemplo el proceso de *Flat Grind*, en este formato se incluyó la siguiente información:

1. Imágenes del proceso, señalizaciones y figuras ilustrativas.
2. Pasos secuenciales de las actividades del proceso.
3. Tiempos de ciclo.
4. Objetivos de producción.
5. Recomendaciones de seguridad.

3.5.3.8 Validar las hojas de trabajo estandarizado con el equipo de trabajo

Para llevar a cabo la validación de las hojas de trabajo estandarizado, se enviaron éstas por correo electrónico al supervisor de la línea LP 2 y al gerente de planta, solicitando a ambas partes que identificaran cualquier posible inconveniente, error o área de mejora en los contenidos.

En caso de requerir ajustes, éstos se incorporarían antes de su aprobación final. Al no presentarse ninguna observación, ambas partes realizaron la validación y autorización para desplegar las hojas de trabajo estandarizado en los procesos correspondientes de la línea LP 2, garantizando así su correcta implementación.

3.5.3.9 Implementar las hojas de trabajo estandarizado en los procesos

Una vez obtenida la validación de las hojas de trabajo estandarizado, se procedió con su implementación en los distintos procesos operativos de la línea LP 2. Para esto se imprimieron las hojas en papel de tamaño A4; formato seleccionado por el departamento de higiene y seguridad industrial de la empresa.

Posteriormente, las hojas fueron enmicadas con el propósito de protegerlas de posibles daños provocados por la exposición al ambiente de la planta, como suciedad, humedad o desgaste por manipulación constante. Por último, se aseguró que las hojas estuvieran visibles en cada estación de trabajo.

Un ejemplo del resultado de la implementación de las hojas de trabajo estandarizado se muestra en la Figura 3.26, donde se puede apreciar el formato enmicado y su disposición en las estaciones de trabajo.

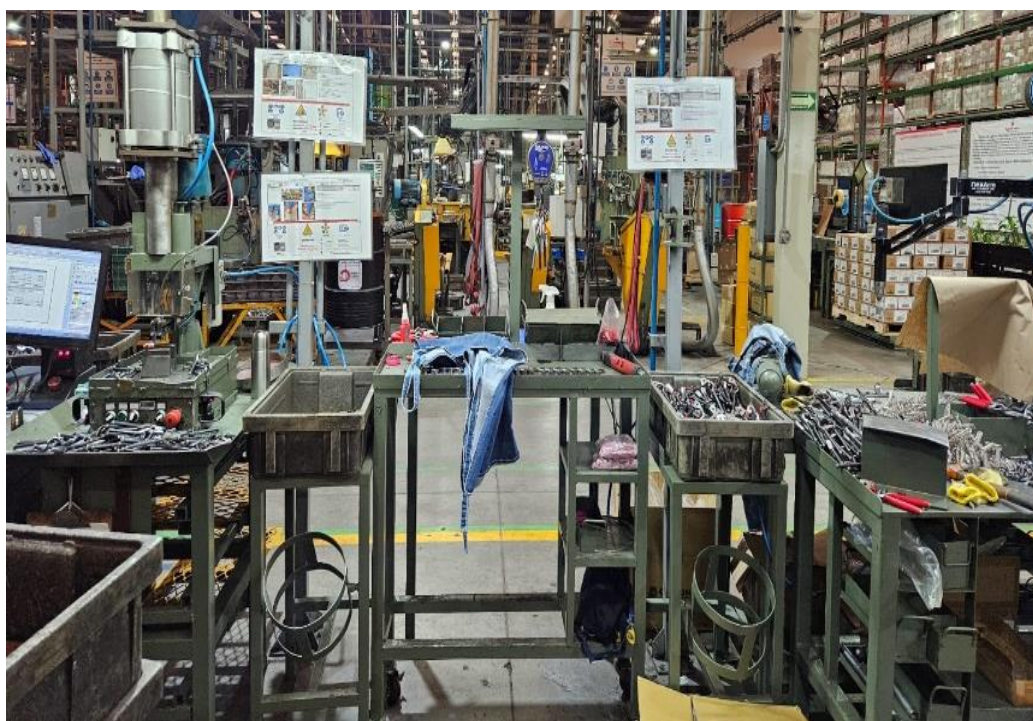


Figura 3.26 Hojas de trabajo estandarizado en la línea LP 2 (Fuente: elaboración propia).

3.5.4 Aplicar las 5S en la línea de producción LP 2

En la línea de producción LP 2, se ha detectado la necesidad de aplicar las 5S, ya que existe desorden en las estaciones de trabajo, acumulación de residuos y basura, así como presencia de materiales ajenos a los procesos de la línea, esto ocasiona que el personal operativo tenga desperdicio de material (Sección 3.3.5) y presente tiempos elevados para realizar la preparación de las máquinas (Sección 3.3.3 y 3.3.4) afectando a la productividad de la línea.

Para lograr la aplicación de las 5S, en la línea de producción LP 2, se realizaron las siguientes actividades:

1. Realizar diagnóstico inicial.
2. Impartir capacitación al personal operativo.
3. Aplicar *Seiri* (Clasificar).
4. Aplicar *Seiton* (Ordenar).
5. Aplicar *Seiso* (Limpiar).
6. Aplicar *Seiketsu* (Estandarizar).
7. Aplicar *Shitsuke* (Disciplina).

3.5.4.1 Realizar diagnóstico determinar situación inicial

Para llevar a cabo una correcta implementación de las 5S en la línea de producción LP 2, fue fundamental realizar un diagnóstico inicial, el objetivo del diagnóstico fue identificar los principales puntos de desorden, desperdicio, acumulación de materiales innecesarios y fuentes de suciedad en la línea de producción LP 2, a través de las siguientes actividades:

- Realizar recorridos a través de la línea LP 2: se realizó una inspección visual de todas las estaciones de trabajo y zonas comunes de la línea de producción LP 2, con la que detectaron los principales puntos de desorden, acumulación de materiales y fuentes de suciedad.
- Realizar entrevistas: se realizaron entrevistas rápidas, con el personal operativo y supervisor de la línea de producción LP 2, para comprender las problemáticas más comunes de la línea y obtener sugerencias.
- Realizar registro fotográfico: se realizó la captura de imágenes, en las diferentes estaciones de trabajo de la línea de producción LP 2, para documentar los hallazgos realizados en cada proceso.

Una vez realizadas las actividades descritas anteriormente se realizaron observaciones generales de lo observado en las estaciones de trabajo de la línea LP 2, estas observaciones se separaron de acuerdo con cada una de las 5S, el resultado se muestra en la Tabla 3.34.

Tabla 3.34 Resultado diagnóstico inicial (Fuente: elaboración propia).

S evaluada	Observaciones
<i>Seiri</i> (Clasificar).	• Acumulación de herramientas y equipos que no son requeridos con frecuencia en ciertas estaciones de trabajo de la línea. • Material sobrante sin un área designada para su almacenamiento o eliminación que ocasiona acumulación en las estaciones de trabajo.
<i>Seiton</i> (Ordenar).	• Herramientas importantes fuera de su lugar, ocasionado que el personal operativo pierda tiempo buscándolas. • Ausencia de señalización clara para los espacios destinados a materiales y equipos. • Algunas estaciones de trabajo presentaron exceso de materiales que a su vez dificultan la movilidad y afectan el flujo de trabajo.
<i>Seiso</i> (Limpiar).	• Residuos y basura acumulados en algunas estaciones de trabajo, especialmente en zonas de uso frecuente. • Derrames de aceites y lubricantes no atendidos de forma inmediata, representando un riesgo para la seguridad del personal operativo. • Equipos y áreas de trabajo que muestran falta de mantenimiento preventivo y limpieza regular.
<i>Seiketsu</i> (Estandarizar).	• Las autoevaluaciones de las 5S se realizan de manera esporádica lo que dificulta mantener el orden y la limpieza de forma continua. • Las tareas de limpieza y organización no se realizan por todo el personal operativo a pesar de que se les da tiempo para ello.
<i>Shitsuke</i> (Disciplina).	• La falta de hábitos establecidos provoca que, tras cada turno el desorden y los residuos se acumulen nuevamente. • Ausencia de auditorías regulares para mantener la disciplina en la aplicación de las 5S.

Asimismo, se realizó el registro fotográfico de las evidencias encontradas en las diferentes estaciones de la línea LP 2, un ejemplo del resultado se muestra en la Figura 3.27. En donde se observa una clara evidencia de la situación antes de la implementación de las 5S, esencial para comparar el "antes y después" de la implementación de esta metodología, asegurando así un seguimiento efectivo del proceso de mejora.

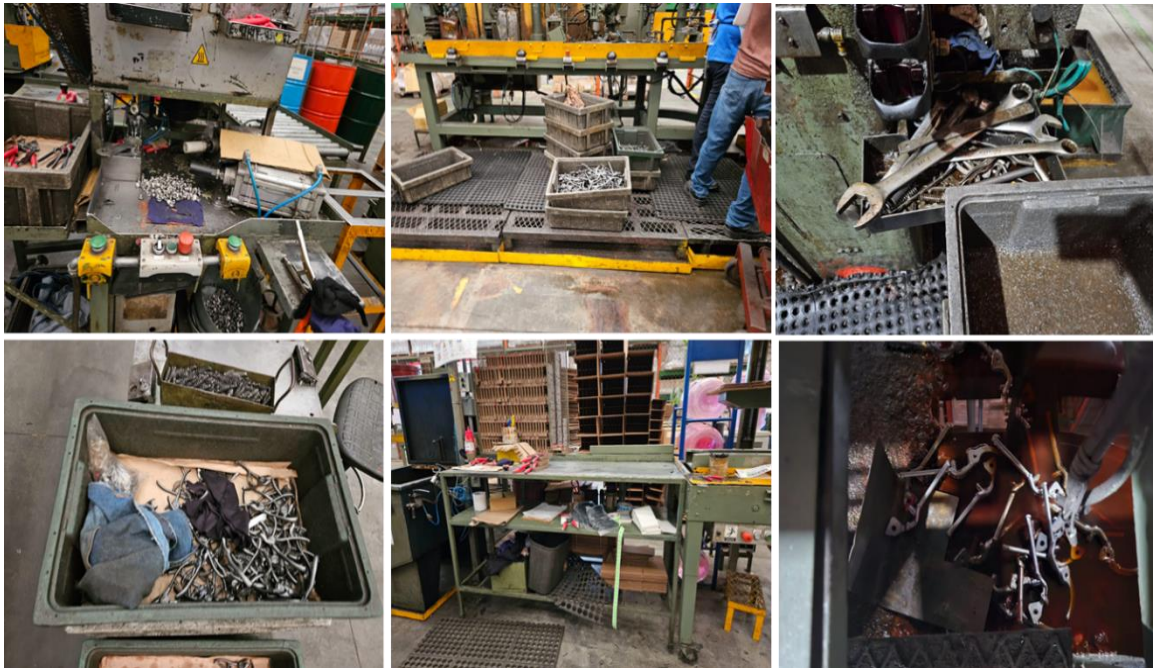


Figura 3.27 Ejemplo de la situación en los procesos antes de las 5S (Fuente: elaboración propia).

3.5.4.2 Impartir capacitación al personal operativo

Una parte fundamental para el éxito de aplicación de las 5S fue asegurar que el personal operativo estuviera plenamente capacitado y comprometido con esta metodología. A través de la capacitación, se buscó que el personal operativo comprendiera los principios, beneficios y cómo aplicar las 5S en sus estaciones de trabajo, en la Figura 3.28 se muestra evidencia de una de las cuatro capacitaciones que se impartieron al personal operativo.



Figura 3.28 Capacitación 5S (Fuente: elaboración propia).

Para impartir la capacitación se realizaron las siguientes actividades:

- Realizar presentación interactiva: se usaron diapositivas, videos breves y fotografías reales del diagnóstico inicial de la línea LP 2, para llamar la atención del personal.
- Incluir información clara y breve: se realizaron las diapositivas con información clara y breve, con el objetivo de que fueran de fácil lectura y entendimiento para el personal operativo.
- Incluir ejercicios prácticos: se realizaron actividades relacionadas con la clasificación, el orden y la limpieza a través de juegos didácticos donde participaron todos los asistentes.
- Realizar ronda de preguntas y respuestas: se definió un espacio de la capacitación para que el personal operativo expresara sus dudas y compartiera sus sugerencias.
- Realizar evaluación final: se elaboró una evaluación compuesta de cinco preguntas para evaluar lo aprendido por parte del personal una vez terminada la capacitación.

3.5.4.3 Aplicar *Seiri* (Clasificar)

La aplicación de *Seiri* (primera etapa de la metodología de las 5S), tuvo como objetivo identificar, clasificar y separar los elementos necesarios de los innecesarios en las estaciones de trabajo, eliminando todo aquello que no aporta valor al proceso. En la Figura 3.29, se muestra evidencia de la aplicación de *Seiri*.



Figura 3.29 Aplicación de *Seiri* (Fuente: elaboración propia).

Para facilitar la participación del personal operativo, se realizó un formato (Tabla 3.35) para *Seiri* (clasificar), el objetivo de este formato fue que el personal operativo pudiera tener un registro de los materiales, herramientas y accesorios presentes en sus estaciones de trabajo.

Esta fase permitió liberar espacio, reducir el desorden y evitar pérdidas de tiempo buscando herramientas, materiales y accesorios, un ejemplo del antes y después de esta S se muestra en la Figura 3.30. Asimismo, en la Tabla 3.36, se describen las actividades realizadas, en conjunto con el personal operativo, durante la aplicación de *Seiri* en la línea LP 2.

Tabla 3.35 Formato para *Seiri* (Fuente: elaboración propia).

Clasificación			
Línea de producción:		Fecha:	
Proceso y no. de máquina:		Observaciones:	
Operador:			
Lista de materiales/herramienta		Clasificación de materiales/herramientas (Sólo lo que sirve)	
Me sirve	No me sirve	Grupo 1 Nombre:	Grupo 2 Nombre:
		Grupo 3 Nombre:	Grupo 4 Nombre:
¿Algún material o herramienta fue enviado a otro proceso? Indique que material o herramienta fue y a que proceso se movió:			



Figura 3.30 Antes y después de la aplicación de *Seiri* (Fuente: elaboración propia).

Tabla 3.36 Actividades realizadas Seiri-clasificar (Fuente: elaboración propia).

Actividades	Descripción
Recorrido de inspección inicial.	Se realizaron visitas a cada estación de trabajo de la línea LP 2 y se hizo entrega de los formatos a todo los involucrados, así mismo se resolvieron dudas acerca de los mismos a quienes lo solicitaron.
Listado de elementos.	Se identificaron y se fueron enlistando en el formato todos los elementos (herramientas, material, accesorios) de las estaciones de trabajo, esto permitió identificar qué elementos debían permanecer y cuáles debían ser eliminados o reubicados.
Retiro de elementos innecesarios.	Se retiraron los elementos innecesarios, como herramientas duplicadas, accesorios en desuso y materiales sobrantes, estos elementos retirados fueron trasladados a un área de almacenamiento temporal para evaluar su posible reutilización, reciclaje o descarte definitivo.
Clasificación de elementos necesarios.	Se realizó la clasificación de los elementos necesarios de cada estación de trabajo con ayuda del formato establecido, esta clasificación se realizó por grupos para facilitar su identificación.
Separación de residuos.	Se identificó y retiró la basura acumulada en las estaciones de trabajo, como empaques, restos de materiales y desechos industriales, los mismos fueron depositados en contenedores específicos para el manejo de residuos reciclables y no reciclables.

3.5.4.4 Aplicar *Seiton* (Ordenar)

La aplicación de *Seiton* (segunda etapa de la metodología de las 5S), tuvo como objetivo organizar y ordenar los materiales, herramientas y accesorios en los lugares adecuados para ser encontrados rápidamente y utilizados de manera eficiente (Figura 3.31).



Figura 3.31 Orden de elementos de acuerdo a frecuencia de uso (Fuente: elaboración propia).

Para facilitar la aplicación de *Seiton*, se realizó un formato (Tabla 3.37), el objetivo de éste fue que el personal operativo pudiera ordenar los materiales, herramientas y accesorios en los lugares adecuados de acuerdo con la frecuencia de su uso, un ejemplo del antes y después de la aplicación de *Seiton* se muestra en la Figura 3.32.

Mientras que en la Tabla 3.38 se describen las actividades realizadas para la aplicación de *Seiton* en la línea LP 2.

Tabla 3.37 Formato para Seiton (Fuente: elaboración propia).

Orden		
Línea de producción:		Fecha:
Proceso y no. de máquina:		Observaciones:
Operador:		
Materiales/herramientas clasificados	Orden de las herramientas	
	Uso frecuente (mantener cerca)	Uso poco habitual (mantener alejado)
	Nunca se usa (Eliminar)	Recomendaciones o propuestas de mejora:



Figura 3.32 Antes y después de la aplicación de Seiton (Fuente: elaboración propia).

Tabla 3.38 Actividades realizadas Seiton-ordenar (Fuente: elaboración propia).

Actividades	Descripción
Registro de orden de los elementos.	Se registró el orden de los elementos de acuerdo a su frecuencia de uso por parte del personal operativo en el formato realizado, con la finalidad de tener un registro y poder realizar seguimiento después de la aplicación de esta etapa.
Asignación de espacios para elementos.	Se establecieron zonas específicas para cada grupo de elementos según su frecuencia de uso: uso frecuente (elementos colocados al alcance directo del personal), uso poco habitual (elementos almacenados en estanterías o cajones cercanos) y uso nulo (elementos no usados fueron enviados al almacén).
Implementación de señalización visual.	Se utilizaron etiquetas para diferenciar los tipos de materiales en estanterías y contenedores, así mismo las zonas de almacenamiento fueron delimitadas con cinta de color para evitar obstrucciones.
Uso de contenedores y organizadores.	Se utilizaron cajas organizadoras y contenedores específicos para material, piezas pequeñas y accesorios, evitando su dispersión. Los elementos fueron agrupados por tipo y frecuencia de uso, facilitando su uso e identificación.
Reubicación de zonas para materia prima.	Se identificaron puntos estratégicos para colocar pallets y cajas con material, evitando que obstaculizaran las áreas de trabajo y entorpecieran el flujo del trabajo dentro de los diferentes procesos de la línea LP 2.

3.5.4.5 Aplicar *Seiso* (Limpiar)

La aplicación de *Seiso* (tercera etapa de la metodología de las 5S), tuvo como objetivo la limpieza de las estaciones de trabajo, máquinas, equipos y herramientas, con la finalidad de eliminar la suciedad, evitar el deterioro de los equipos y detectar cuestiones que ponen en riesgo la seguridad del personal operativo como charcos, fugas o cables pelados.

Para facilitar la aplicación de *Seiso*, se realizó un formato (), el objetivo de éste fue que el personal operativo registrara las actividades de limpieza realizadas en su estación de trabajo, así mismo se añadió una autoevaluación para tomar acciones correctivas en etapas posteriores. Un ejemplo de las actividades realizadas y el antes y después de la aplicación de *Seiso* se muestra en la Figura 3.33.

Asimismo, en la Tabla 3.40 se describen las actividades realizadas para la aplicación de Seiso en la línea LP 2.

Tabla 3.39 Formato para Seiso (Fuente: elaboración propia)

Limpieza			
Línea de producción:	Fecha:		
Proceso y no. de máquina:	Observaciones:		
Operador:			
Actividades de limpieza	Autoevaluación (Marque y conteste)		
Indique y describa las actividades de limpieza realizadas en el área:	¿Se cuenta con kits de limpieza organizados y de fácil acceso?	☐ Sí ☐ No	¿Porqué?
	¿Las máquinas se encuentran en buen estado y limpias?	☐ Sí ☐ No	¿Porqué?
	¿Existen los residuos (lodos, aceite, papel, carton, basura en general y plástico) depositados en los contenedores adecuados?	☐ Sí ☐ No	¿Porqué?
	¿Los alrededores (pasillos, entrada, salida del material) están limpios?	☐ Sí ☐ No	¿Porqué?
	¿Existen fugas/charcos (agua-aceite hidráulico) o elementos deteriorados de la máquina?	☐ Sí ☐ No	¿Porqué?

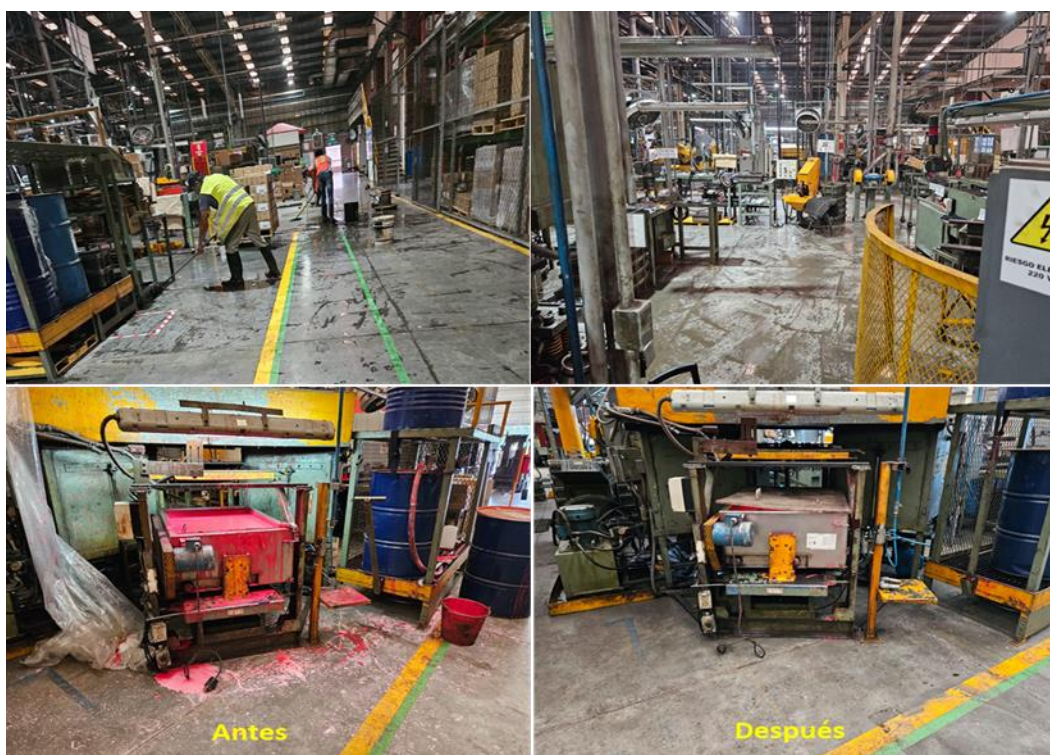


Figura 3.33 Actividades de limpieza y antes y después de la aplicación de Seiso (Fuente: elaboración propia).

Tabla 3.40 Actividades realizadas Seiso-limpiar (Fuente: elaboración propia).

Actividades	Descripción
Limpieza profunda inicial.	Se realizó una limpieza exhaustiva de cada estación de trabajo, retirando residuos acumulados, polvo, aceites y restos de materiales. Los equipos y máquinas fueron revisados para eliminar suciedad que pudiera interferir con su funcionamiento.
Identificación de fuentes de suciedad.	Se detectaron áreas propensas a acumulación de residuos, como zonas de corte y áreas de lubricación. Se asignaron responsables en cada estación de trabajo para vigilar fugas de aceite o lubricante en las máquinas, tomando acciones correctivas de inmediato.
Asignación de tareas de limpieza diaria.	Cada operario recibió la responsabilidad de realizar una limpieza ligera al inicio y final de su turno. Se distribuyeron materiales de limpieza (trapos, escobas, jaladores y cubetas) en la línea, garantizando que estén siempre disponibles.
Registro de actividades de limpieza.	Se realizó el registro de las actividades de limpieza por parte del personal operativo en el formato utilizado, para tener un registro y control de las actividades, así como para realizar un seguimiento en etapas posteriores.
Autoevaluación y observaciones.	Se realizó la autoevaluación del formato utilizado y se realizaron observaciones, esta información fue recolectada y analizada para dar seguimiento a situaciones que no pudieron ser resueltas en el momento y que requieren acciones correctivas.

3.5.4.6 Aplicar *Seiketsu* (Estandarizar)

La aplicación de *Seiketsu* (cuarta fase de la metodología de las 5S), tuvo como objetivo mantener la clasificación, el orden y la limpieza mediante la creación de un formato de autoevaluación (Tabla 3.41) y recomendaciones al personal operativo (Tabla 3.42). Esta fase fue fundamental para asegurar que las mejoras obtenidas en las etapas anteriores (clasificación, orden y limpieza) se mantuvieran de manera constante a lo largo del tiempo.

Es importante mencionar que el formato para la autoevaluación (Tabla 3.41) tuvo como objetivo que el personal operativo de la línea LP 2 se evaluara semanalmente, y adoptara prácticas repetitivas y rutinarias que garantizaran la sostenibilidad de las mejoras a lo largo del tiempo y se pudieran tomar acciones correctivas de ser necesario.

Tabla 3.41 Formato autoevaluación 5S (Fuente: elaboración propia).

Autoevaluación 5S			
Línea de producción:	Fecha:		
Proceso:	Turno:		
Operador:			
Evaluación-Seiri (Clasificación)			
¿Los elementos innecesarios han sido retirados de la estación?			
Criterio	Cumple	No cumple	Observaciones
Sólo se mantienen herramientas y materiales esenciales.			
No hay acumulación de materiales sobrantes o en desuso.			
Se dispone de un área de descarte para materiales innecesarios.			
Evaluación-Seiton (Orden)			
¿Todo está en su lugar asignado y es fácil de localizar?			
Las herramientas están ubicadas en las áreas designadas.			
La señalización y etiquetas están claras y visibles.			
Las rutas de tránsito y áreas de trabajo están despejadas.			
Evaluación-Seiso (Limpieza)			
¿Se ha realizado la limpieza de las estaciones y equipos?			
Las áreas están libres de suciedad, polvo y residuos.			
Se han limpiado las herramientas y equipos después de su uso.			
Existen materiales de limpieza disponibles en la estación.			
Evaluación-Seiketsu (Estandarización)			
¿Se siguen los procedimientos estándar establecidos?			
Las actividades diarias incluyen tareas de limpieza y organización.			
Los procedimientos y checklists están disponibles y se utilizan.			
La estación se encuentra conforme a los estándares establecidos.			
Evaluación-Shitsuke (Disciplina)			
¿El equipo mantiene los hábitos y estándares de las 5S de manera constante?			
El personal realiza las tareas según los procedimientos.			
Se realizan autoevaluaciones y acciones correctivas.			
Los operadores participan activamente en las tareas de mejora.			

Tabla 3.42 Recomendaciones al personal operativo (Fuente: elaboración propia).

Recomendación	Descripción
Seguir procedimientos estandarizados.	• Cumplir con las rutinas diarias de limpieza y organización al inicio y al final de cada turno. • Realizar las autoevaluaciones para asegurarse de que se está cumpliendo con las 5S. • Asegurarse de que cada herramienta, equipo o material sea devuelto a su lugar después de ser utilizado.
Adoptar hábitos de limpieza regular.	• Realizar tareas de limpieza durante la jornada laboral y no esperar al final del turno. • Detectar y reportar cualquier anomalía en los equipos (fugas, desgastes, acumulación de suciedad) para evitar problemas operativos. • Utilizar los contenedores de residuos designados para evitar acumulaciones innecesarias.
Participar en auditorías y evaluaciones.	• Colaborar activamente en las auditorías internas y verificaciones de las 5S. • Aceptar la retroalimentación y aplicar las correcciones necesarias en su área de trabajo. • Proponer mejoras en los procedimientos y prácticas para optimizar la organización y eficiencia.
Promover la mejora continua.	• Estar atento a los pequeños cambios que puedan mejorar la rutina de trabajo y compartir esas ideas con el departamento de producción. • Participar activamente en las capacitaciones impartidas por la empresa donde se busca capacitar al personal y repasar temas ya vistos.

3.5.4.7 Aplicar *Shitsuke* (Disciplina)

La aplicación de *Shitsuke* (última etapa de la metodología de las 5S), tuvo como objetivo fomentar la autodisciplina y la mejora continua del personal operativo, para que las mejoras logradas con las fases anteriores (*Seiri*, *Seiton*, *Seiso* y *Seiketsu*) se mantuvieran de forma permanente.

Para fomentar la disciplina y tener registro y control de las mejoras realizadas, se realizó un formato de auditoría de las 5S (Tabla 3.43), éste tuvo como objetivo evaluar toda la línea de producción LP 2 de manera semanal, realizando un concentrando de la información y comparando lo obtenido con las autoevaluaciones realizadas por el personal operativo para tomar acciones correctivas de ser necesario.

Tabla 3.43 Formato auditoría 5S (Fuente: elaboración propia).

AUDITORÍA 5S							
LÍNEA:		PARTICIPANTES:				FECHA:	
Elementos a evaluar		OPTIMO (4) Se ha mejorado el estándar	ALTO (3) Se cumple con el estándar	NORMAL (2) Se cumple con pocos fallos	BAJO (1) NO se cumple con el estándar	NO ACEPTABLE (0) No se cumple nada	Área / Número de máquina
CLASIFICACIÓN	Existen innecesarios en las máquinas y sus alrededores.						
	Existen innecesarios en los pasillos (internos) y alrededores.						
	Existen innecesarios externos al uso de la celula (subcontratistas, mantenimiento, otras líneas).						
	Están todos los necesarios que tienen que estar.						
	Está definida y se conserva la identificación macro (cinta adherida y delimitada las áreas)						
TOTAL CLASIFICACIÓN (A) :							
ORDEN	Las herramientas y/o utillajes están identificados y en su lugar de almacenamiento.						
	Los cajones/gavetas se encuentran bien ordenados y sin innecesarios.						
	Están marcados los territorios para la ubicación de materias primas, material en curso, producto no conforme, muestras, etc.						
	Están identificados los equipos auxiliares (bombas, cuadros eléctricos, válvulas, tuberías).						
	Los documentos, procedimientos y restos de información sobre papel están bien organizados, actualizados y ordenados.						
TOTAL ORDEN (B) :							
LIMPIEZA	Se cuenta con kits de limpieza organizados y de fácil acceso.						
	Las máquinas, ¿se encuentran en buen estado y limpias?						
	Existen residuos (lodos, aceite, papel, cartón, basura en general y plástico) depositados en los contenedores adecuados.						
	Los alrededores (pasillos, entrada, salida del material) están limpios.						
	Existen fugas/charcos (agua-aceite hidráulico) o elementos deteriorados de la máquina.						
TOTAL LIMPIEZA (C) :							
CONTROL VISUAL	Funcionan las alarmas de emergencia de todas las máquinas.						
	Existen y se respetan las señalizaciones de peligro (extintores, salidas de emergencia, lámparas de emergencia, detectores de humo).						
	Los elementos de la máquina e instalación tienen aplicado control visual (identificación de las botoneras), completos y en buen estado.						
	Los elementos de control visual indican que hacer en caso de no OK.						
	Están identificados con colores los diferentes contenedores / áreas para producto no conformes y conformes.						
TOTAL CONTROL VISUAL (D) :							
DISCIPLINA Y HÁBITO	Los paseos, disciplina y hábito están planificados y los equipos externos e internos definidos.						
	Se han realizado los paseos planificados desde el último realizado.						
	Los paseos recogen evidencias y acciones concretas si son necesarias.						
	Las acciones se han realizado corrigiendo el problema y en el plazo estimado.						
	El indicador total paseo 5S está empeorando, estable o mejorando.						
TOTAL HÁBITO Y DISCIPLINA (E) :							
SEGURIDAD	Los operadores hacen uso correcto de equipo de protección personal dentro de la línea de producción.						
	Existen señales de emergencia (salidas, extintores, equipo contra incendios) así como tuberías y rutas de evacuación						
	Existen residuos peligrosos dentro de las estaciones de trabajo que pongan en riesgo a los operadores.						
	Las máquinas y botones de paro de emergencia funciona de manera correcta sin poner en riesgo a nadie.						
	Existen elementos inseguros (charcos, cables pelados, máquinas sin guardas, falta de señalización o cualquier cosa que ponga en riesgo al personal) dentro de la línea.						
TOTAL SEGURIDAD (S) :							
CALIFICACIÓN TOTAL AUDITORÍA 5S (A + B + C + D + E + S):							

3.5.5 Aplicar *SMED* para reducir los tiempos de preparación de máquinas *Off-line*

En la línea de producción LP 2 se ha identificado la necesidad de aplicar *SMED*, en el proceso de *Off-line*, con el objetivo de reducir los tiempos de preparación de las máquinas (Sección 3.3.3). Para lograr la reducción de los tiempos de preparación se realizaron las cuatro fases de *SMED* que se muestran en la Figura 3.34.

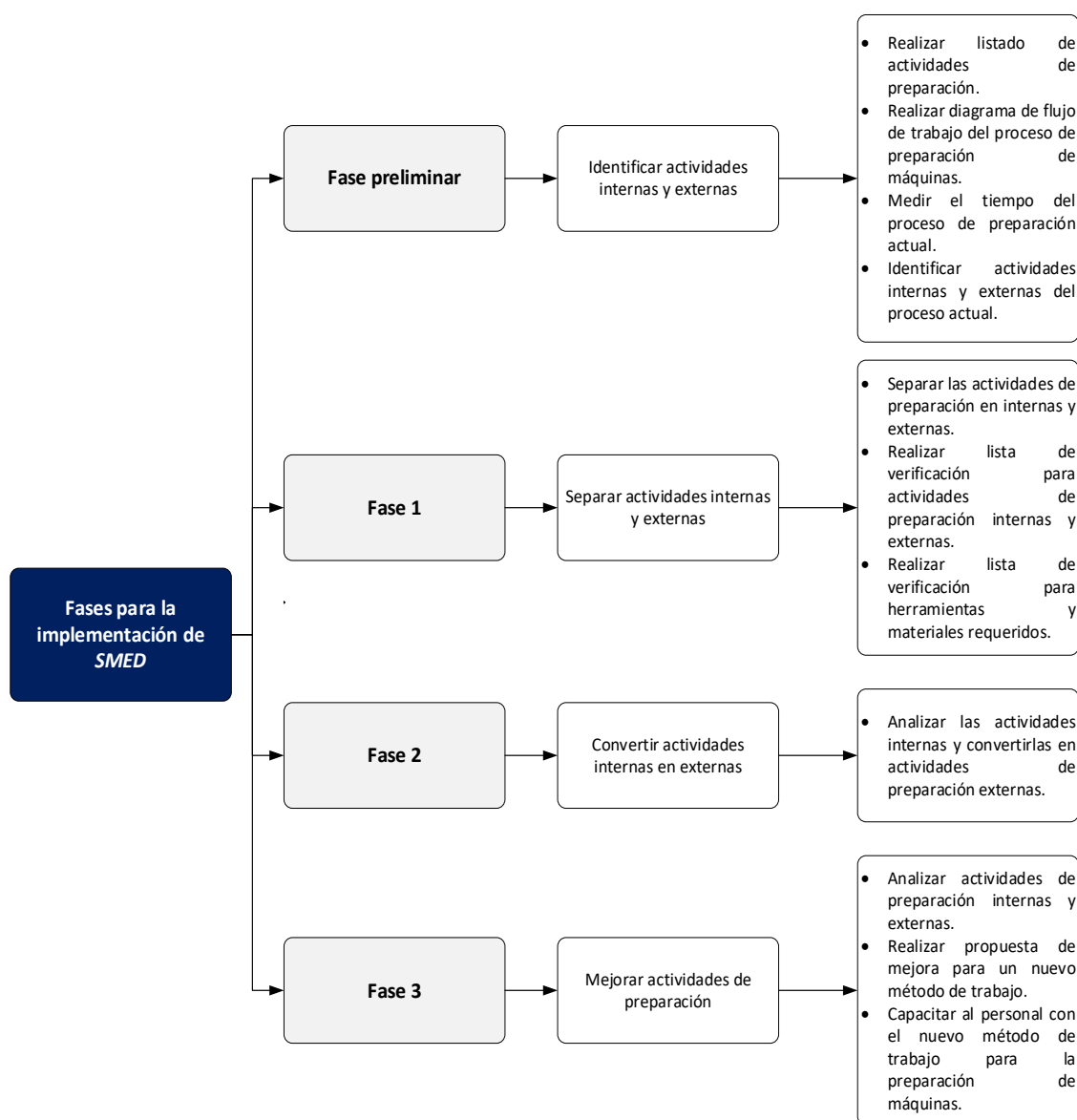


Figura 3.34 Fases para la implementación de *SMED* (Fuente: elaboración propia).

3.5.5.1 Fase preliminar: identificar actividades internas y externas

La fase preliminar, en la aplicación de *SMED*, tuvo como objetivo identificar las actividades internas y externas que el personal operativo realiza para la preparación de máquinas *Off-line*. Para llevar a cabo esta fase, se realizaron las siguientes actividades:

1. Realizar listado de actividades de preparación.
2. Realizar diagrama de flujo de trabajo del proceso de preparación.
3. Medir el tiempo del proceso de preparación actual.
4. Identificar actividades internas y externas del proceso de preparación actual.
5. Analizar porcentajes de contribución de las actividades de preparación.

3.5.5.1.1 Realizar listado de actividades de preparación

Para realizar el listado de las actividades de preparación, de las máquinas *Off-line*, se realizó una observación del proceso de preparación. Durante esta actividad se supervisó de manera presencial cada etapa de la preparación, registrando en tiempo real todas las actividades realizadas por el personal operativo; el listado de las actividades se muestra en la Tabla 3.44.

Tabla 3.44 Lista de actividades de preparación de *Off-line* (Fuente: elaboración propia).

No.	Actividad	No.	Actividad
1	Limpia la base de las máquinas.	26	Acciona la primera máquina.
2	Va a almacén de materia prima.	27	Verifica las características del barrenado para tornillo central.
3	Solicita material de acuerdo a la tijera a fabricar.	28	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.
4	Regresa a estación de trabajo.	29	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.
5	Toma herramienta para desmontar brocas y cortadores.	30	Acciona la segunda máquina.
6	Desmonta las brocas y los cortadores.	31	Verifica las características del barrenado para tornillo central.
7	Coloca las brocas y los cortadores desmontados en área común.	32	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.
8	Coloca la herramienta utilizada en un carrito de herramientas.	33	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.
9	Va a almacén de mantenimiento.	34	Acciona la tercera máquina.
10	Toma brocas, cortadores y aceite para las máquinas.	35	Verifica las características del desvate para resorte.
11	Regresa a estación de trabajo.	36	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.
12	Coloca el aceite en el depósito de las máquinas.	37	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.
13	Toma herramienta para montar brocas y cortadores.	38	Acciona la cuarta máquina.
14	Monta brocas y coradores en las máquinas.	39	Verifica las características del barrenado para seguro.
15	Enciende en tablero cabezales, fresadoras, avellanador y bomba de agua.	40	Ajusta caída de la herramienta de corte de la cuarta máquina.
16	Toma la herramienta para realizar ajustes.	41	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.
17	Ajusta brocas y cortadores	42	Acciona la quinta máquina.
18	Realiza pruebas en vacío de brocas y cortadores.	43	Verifica las características del corte angular para resorte.
19	Verifica el giro de brocas y cortadores.	44	Ajusta caída de la herramienta de corte de la quinta máquina.
20	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.	45	Lleva la forja a la base de la sexta máquina.
21	Toma una caja de material del depósito de la línea.	46	Acciona la sexta máquina.
22	Regresa a la estación de trabajo.	47	Verifica las características de la cuerda del agujero para el seguro.
23	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.	48	Ajusta caída de la herramienta de corte de la sexta máquina.
24	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.	49	Realiza corrida de prueba.
25	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.	50	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.

3.5.5.1.2 Realizar diagrama de flujo de trabajo del proceso de preparación

De acuerdo con la lista de actividades de preparación realizadas (Sección 3.5.5.1.1) se realizó un diagrama de flujo de trabajo del proceso de preparación de máquinas *Off-line* (Tabla 3.45), el objetivo de este diagrama fue representar de manera gráfica las actividades realizadas, el tiempo de cada actividad, y el tipo de cada una: operación, transporte, inspección, demora y almacenamiento.

Tabla 3.45 Diagrama de flujo de trabajo *Off-line* (Fuente: elaboración propia).

Diagrama de flujo de trabajo								
Actividad: proceso de preparación de máquinas <i>Off-line</i> .								
Resumen			Datos					
	Tipo de actividad	Número	Página: 1 de 1.					
●	Operación	31	Enfoque: actual.					
■	Inspección	8	Empresa: NOVA.					
➡	Transporte	11	Proceso: <i>Off-line</i> .					
■	Demora	0	Tipo de diagrama: diagrama de flujo de trabajo.					
▼	Almacenamiento	0	Elaboró: Ing. Martín Flores Zuñiga					
Tiempo total = 59.53 min.		50	Fecha: 29/10/2024					
No.	Actividad		Símbolo					Tiempo (minutos)
			Oper.	Inspec.	Transp.	Demor.	Almac.	
1	Limpia la base de las máquinas.		●	■	➡	■	▼	1.48
2	Va a almacén de materia prima.		●					3.50
3	Solicita material de acuerdo a la tijera a fabricar.		●		➡			0.48
4	Regresa a estación de trabajo.		●	■	➡		▼	3.48
5	Toma herramienta para desmontar brocas y cortadores.		●	■	➡		▼	0.25
6	Desmonta las brocas y los cortadores.		●		➡			3.60
7	Coloca las brocas y los cortadores desmontados en área común.		●	■	➡		▼	0.25
8	Coloca la herramienta utilizada en un carrito de herramientas.		●		➡		▼	0.50
9	Va a almacén de mantenimiento.		●		➡			3.90
10	Toma brocas, cortadores y aceite para las máquinas.		●	■	➡		▼	2.50
11	Regresa a estación de trabajo.		●	■	➡		▼	3.82
12	Coloca el aceite en el depósito de las máquinas.		●	■	➡		▼	1.50
13	Toma herramienta para montar brocas y cortadores.		●	■	➡		▼	0.48
14	Monta brocas y coradores en las máquinas.		●		➡		▼	2.28
15	Enciende en tablero cabezales, fresadoras, avellanador y bomba de agua.		●		➡		▼	0.38
16	Toma la herramienta para realizar ajustes.		●		➡		▼	0.50
17	Ajusta brocas y cortadores		●	■	➡		▼	2.07
18	Realiza pruebas en vacío de brocas y cortadores.		●	■	➡		▼	1.50
19	Verifica el giro de brocas y cortadores.		●	■	➡		▼	0.90
20	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.		●		➡		▼	0.87
21	Toma una caja de material del depósito de la línea.		●	■	➡		▼	0.58
22	Regresa a la estación de trabajo.		●	■	➡		▼	0.92
23	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.		●	■	➡		▼	0.25
24	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.		●	■	➡		▼	0.50
25	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.		●	■	➡		▼	0.20
26	Acciona la primera máquina.		●	■	➡		▼	0.30
27	Verifica las características del barrenado para tornillo central.		●	■	➡		▼	0.50
28	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.		●	■	➡		▼	2.17
29	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.		●	■	➡		▼	0.50
30	Acciona la segunda máquina.		●	■	➡		▼	0.30
31	Verifica las características del barrenado para tornillo central.		●	■	➡		▼	0.50
32	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.		●	■	➡		▼	2.30
33	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.		●	■	➡		▼	0.50
34	Acciona la tercera máquina.		●	■	➡		▼	0.30
35	Verifica las características del desvate para resorte.		●	■	➡		▼	0.50
36	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.		●	■	➡		▼	2.12
37	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.		●	■	➡		▼	0.50
38	Acciona la cuarta máquina.		●	■	➡		▼	0.30
39	Verifica las características del barrenado para seguro.		●	■	➡		▼	0.50
40	Ajusta caída de la herramienta de corte de la cuarta máquina.		●	■	➡		▼	2.40
41	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.		●	■	➡		▼	0.50
42	Acciona la quinta máquina.		●	■	➡		▼	0.30
43	Verifica las características del corte angular para resorte.		●	■	➡		▼	0.50
44	Ajusta caída de la herramienta de corte de la quinta máquina.		●	■	➡		▼	2.33
45	Lleva la forja a la base de la sexta máquina.		●	■	➡		▼	0.50
46	Acciona la sexta máquina.		●	■	➡		▼	0.30
47	Verifica las características de la cuerda del agujero para el seguro.		●	■	➡		▼	0.50
48	Ajusta caída de la herramienta de corte de la sexta máquina.		●	■	➡		▼	1.70
49	Realiza corrida de prueba.		●	■	➡		▼	1.50
50	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.		●	■	➡		▼	1.00
Total =			31	8	11	0	0	59.53

3.5.5.1.3 Medir el tiempo del proceso de preparación actual

Para realizar la medición del tiempo del proceso de preparación de máquinas *Off-line* se tomaron en cuenta las actividades realizadas por el personal operativo en dicho proceso, mismas que se mostraron en la Tabla 3.45. Para realizar la medición del tiempo del proceso de preparación actual se realizaron las siguientes actividades:

1. Medición de tiempos preliminares: se realizó la medición de tiempos preliminares (Sección 3.3.3.1). Se tomaron seis ciclos para los tiempos de las máquinas *Off-line*.
2. Cálculo de número de ciclos óptimos: se realizó el cálculo del número de ciclos óptimos (Sección 3.3.3.2), utilizando el método estadístico por fórmula directa para que el estudio tuviera validez estadística.
3. Medición de tiempos de ciclos faltantes: no hubo necesidad de realizar la medición de tiempos de ciclos faltantes (Sección 3.3.3.3), ya que con los seis ciclos tomados en la Sección 3.3.3.1 fue suficiente.
4. Cálculo del tiempo total de preparación: el cálculo del tiempo total de preparación de las máquinas *Off-line* se realizó calculando el promedio de los tiempos obtenidos durante la medición de tiempos preliminares (Sección 3.3.3.1), obteniendo un **tiempo total de preparación de 59.53 minutos para las máquinas *Off-line*.**

3.5.5.1.4 Identificar actividades internas y externas del proceso de preparación actual

Para realizar la identificación de las actividades internas y externas del proceso de preparación actual de las máquinas *Off-line*, se entrevistó al personal operativo para identificar cuáles actividades, de las listadas en la Tabla 3.44, eran internas (que deben ser realizadas con la máquina apagada) y cuáles eran externas (que pueden ser realizadas con la máquina encendida) de acuerdo con su experiencia.

Una vez identificadas las actividades internas y externas se realizó la Tabla 3.46, en la que cada actividad fue clasificada como interna o externa de acuerdo con la experiencia del personal operativo. Además, se muestra el tiempo de ejecución y el porcentaje de contribución correspondiente a cada actividad.

Tabla 3.46 Identificación de actividades internas y externas Off-line (Fuente: elaboración propia).

No.	Actividad	Tipo de operación	Tiempo (segundos)	Porcentaje de contribución
1	Limpia la base de las máquinas.	Externa	89	2.5%
2	Va a almacén de materia prima.	Externa	210	5.9%
3	Solicita material de acuerdo a la tijera a fabricar.	Externa	29	0.8%
4	Regresa a estación de trabajo.	Externa	209	5.9%
5	Toma herramienta para desmontar brocas y cortadores.	Interna	15	0.4%
6	Desmonta las brocas y los cortadores.	Interna	216	6.0%
7	Coloca las brocas y los cortadores desmontados en área común.	Interna	15	0.4%
8	Coloca la herramienta utilizada en un carrito de herramientas.	Interna	30	0.8%
9	Va a almacén de mantenimiento.	Externa	234	6.6%
10	Toma brocas, cortadores y aceite para las máquinas.	Externa	150	4.2%
11	Regresa a estación de trabajo.	Externa	229	6.4%
12	Coloca el aceite en el depósito de las máquinas.	Interna	90	2.5%
13	Toma herramienta para montar brocas y cortadores.	Interna	29	0.8%
14	Monta brocas y coradores en las máquinas.	Interna	137	3.8%
15	Enciende en tablero cabezales, fresadoras, avellanador y bomba de agua.	Interna	23	0.6%
16	Toma la herramienta para realizar ajustes.	Interna	30	0.8%
17	Ajusta brocas y cortadores	Interna	124	3.5%
18	Realiza pruebas en vacío de brocas y cortadores.	Interna	90	2.5%
19	Verifica el giro de brocas y cortadores.	Interna	54	1.5%
20	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.	Interna	52	1.5%
21	Toma una caja de material del depósito de la línea.	Interna	35	1.0%
22	Regresa a la estación de trabajo.	Interna	55	1.5%
23	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.	Interna	15	0.4%
24	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.	Interna	30	0.8%
25	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.	Interna	12	0.3%
26	Acciona la primera máquina.	Interna	18.1	0.5%
27	Verifica las características del barrenado para tornillo central.	Interna	30	0.8%
28	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.	Interna	130	3.6%
29	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.	Interna	30	0.8%
30	Acciona la segunda máquina.	Interna	18.1	0.5%
31	Verifica las características del barrenado para tornillo central.	Interna	30	0.8%
32	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.	Interna	138	3.9%
33	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.	Interna	30	0.8%
34	Acciona la tercera máquina.	Interna	18.1	0.5%
35	Verifica las características del desvate para resorte.	Interna	30	0.8%
36	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.	Interna	127	3.6%
37	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.	Interna	30	0.8%
38	Acciona la cuarta máquina.	Interna	18.1	0.5%
39	Verifica las características del barrenado para seguro.	Interna	30	0.8%
40	Ajusta caída de la herramienta de corte de la cuarta máquina.	Interna	144	4.0%
41	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.	Interna	30	0.8%
42	Acciona la quinta máquina.	Interna	18.1	0.5%
43	Verifica las características del corte angular para resorte.	Interna	30	0.8%
44	Ajusta caída de la herramienta de corte de la quinta máquina.	Interna	140	3.9%
45	Lleva la forja a la base de la sexta máquina.	Interna	30	0.8%
46	Acciona la sexta máquina.	Interna	18.1	0.5%
47	Verifica las características de la cuerda del agujero para el seguro.	Interna	30	0.8%
48	Ajusta caída de la herramienta de corte de la sexta máquina.	Interna	102	2.9%
49	Realiza corrida de prueba.	Interna	90	2.5%
50	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.	Interna	60	1.7%
Total =			3571.6	100%

3.5.5.1.5 Analizar porcentajes de contribución de las actividades de preparación

El análisis de los porcentajes de contribución de las actividades de preparación de las máquinas *Off-line*, mostrados en la Tabla 3.46, se realizó con el objetivo de comprender las razones detrás de las actividades con los porcentajes de contribución más altos.

Para realizar esta actividad se solicitó el apoyo del personal operativo de este proceso, quien ayudo a identificar, de acuerdo con su experiencia, las causas por las que estas actividades presentaron un porcentaje de contribución significativamente mayor que el resto; el resultado se muestra en la Tabla 3.47.

Tabla 3.47 Análisis de porcentajes de contribución *Off-line* (Fuente: elaboración propia).

No.	Actividad	%	¿Por qué presenta un porcentaje de contribución alto?
2	Va a almacén de materia prima.	5.9%	El operador debe ir hasta el almacén de materia prima a solicitar material para trabajar, al no contar con él en su estación de trabajo.
4	Regresa a estación de trabajo.	5.9%	El operador debe regresar a su estación de trabajo una vez realizado el pedido de la materia prima de acuerdo a la tijera a fabricar.
6	Desmonta las brocas y los cortadores.	6.0%	El operador tiene que desmontar cuatro brocas, un avellanador y una fresa del turno anterior.
9	Va a almacén de mantenimiento.	6.6%	El operador tiene que ir al almacén de mantenimiento por brocas, un avellanador y una fresa, además de aceite para las máquinas.
10	Toma brocas, cortadores y aceite para las máquinas	4.2%	El operador tiene que solicitar las brocas y cortadores que ocupará en almacén y buscar el aceite en el carrito de mantenimiento.
11	Regresa a estación de trabajo.	6.4%	El operador debe regresar a su estación de trabajo, con los materiales para seguir con el proceso de preparación.
14	Monta brocas y cortadores en las máquinas.	3.8%	El operador tiene que montar cuatro brocas, un avellanador y una fresa para comenzar a trabajar.
17	Ajusta brocas y cortadores.	3.5%	El operador tiene que ajustar el giro de las brocas, el avellanador y la fresa hasta que estas giren de manera correcta.
28	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.	3.6%	El operador tiene que ajustar la caída a prueba y error, para realizar correctamente el barrenado central.
32	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.	3.9%	El operador tiene que ajustar la caída a prueba y error, para realizar correctamente el barrenado central.
36	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.	3.6%	El operador tiene que ajustar la caída a prueba y error, para realizar correctamente el devaste para resorte.
40	Ajusta caída de la herramienta de corte de la cuarta máquina.	4.0%	El operador tiene que ajustar la caída a prueba y error, para realizar correctamente el barrenado para seguro.
44	Ajusta caída de la herramienta de corte de la quinta máquina.	3.9%	El operador tiene que ajustar la caída a prueba y error, para realizar correctamente el corte angular para resorte.

3.5.5.2 Fase 1: separar actividades internas y externas

La aplicación de la primera fase de *SMED* tuvo como objetivo separar y clasificar las actividades de preparación de las máquinas *Off-line* como internas o externas, y asegurar que éstas se ejecuten de manera correcta. Para la aplicación de la fase 1 se realizaron las siguientes actividades:

1. Separar las actividades de preparación como internas o externas.
2. Realizar lista de verificación para control de operaciones internas y externas.
3. Realizar lista de verificación para equipo de protección personal, herramientas y equipo utilizado.

3.5.5.2.1 Separar las actividades de preparación como internas o externas

Para separar las actividades de preparación de las máquinas *Off-line* como internas o externas, primero se realizó la identificación de éstas en internas y externas, con ayuda del personal operativo, tal como se mostró en la Sección 3.5.5.1.4.

Una vez realizada la identificación de las actividades internas y externas, se realizó la separación de éstas; el resultado se muestra en la Tabla 3.48. En esta tabla se muestra lo siguiente:

- El orden de secuencia que siguen y los tiempos de realización de cada una.
- Que el tiempo total de las actividades de preparación internas fue de 40.36 minutos.
- Que el tiempo total de las actividades de preparación externa fue de 19.17 minutos.

Con estos resultados se concluye que **la máquina puede trabajar 19.17 minutos más**, debido a que **el tiempo total de preparación pasó de 59.53 (Tabla 3.45) a 40.36 minutos**.

Tabla 3.48 Separación de actividades en internas y externas Off-line (Fuente: elaboración propia).

No.	Actividades internas	Tiempo (min)	No.	Actividades externas (turno anterior)	Tiempo (min)
1	Toma herramienta para desmontar brocas y cortadores.	0.25	1	Limpia la base de las máquinas.	1.48
2	Desmonta las brocas y los cortadores.	3.60	2	Va a almacén de materia prima.	3.50
3	Coloca las brocas y los cortadores desmontados en área común.	0.25	3	Solicita material de acuerdo a la tijera a fabricar.	0.48
4	Coloca la herramienta utilizada en un carrito de herramientas.	0.50	4	Regresa a estación de trabajo.	3.48
5	Coloca el aceite en el depósito de las máquinas.	1.50	5	Va a almacén de mantenimiento.	3.90
6	Toma herramienta para montar brocas y cortadores.	0.48	6	Toma brocas, cortadores y aceite para las máquinas.	2.50
7	Monta brocas y coradores en las máquinas.	2.28	7	Regresa a estación de trabajo.	3.82
8	Enciende en tablero cabezales, fresadoras, avellanador y bomba de agua.	0.38			
9	Toma la herramienta para realizar ajustes.	0.50			
10	Ajusta brocas y cortadores	2.07			
11	Realiza pruebas en vacío de brocas y cortadores.	1.50			
12	Verifica el giro de brocas y cortadores.	0.90			
13	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.	0.87			
14	Toma una caja de material del depósito de la línea.	0.58			
15	Regresa a la estación de trabajo.	0.92			
16	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.	0.25			
17	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.	0.50			
18	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.	0.20			
19	Acciona la primera máquina.	0.30			
20	Verifica las características del barrenado para tornillo central.	0.50			
21	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.	2.17			
22	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.	0.50			
23	Acciona la segunda máquina.	0.30			
24	Verifica las características del barrenado para tornillo central.	0.50			
25	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.	2.30			
26	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.	0.50			
27	Acciona la tercera máquina.	0.30			
28	Verifica las características del desvate para resorte.	0.50			
29	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.	2.12			
30	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.	0.50			
31	Acciona la cuarta máquina.	0.30			
32	Verifica las características del barrenado para seguro.	0.50			
33	Ajusta caída de la herramienta de corte de la cuarta máquina.	2.40			
34	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.	0.50			
35	Acciona la quinta máquina.	0.30			
36	Verifica las características del corte angular para resorte.	0.50			
37	Ajusta caída de la herramienta de corte de la quinta máquina.	2.33			
38	Lleva la forja a la base de la sexta máquina.	0.50			
39	Acciona la sexta máquina.	0.30			
40	Verifica las características de la cuerda del agujero para el seguro.	0.50			
41	Ajusta caída de la herramienta de corte de la sexta máquina.	1.70			
42	Realiza corrida de prueba.	1.50			
43	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.	1.00			
Tiempo total de actividades internas =		40.36	Tiempo total de actividades externas =		19.17

3.5.5.2.2 Realizar lista de verificación para control de operaciones internas y externas

Para verificar que las actividades de preparación de las máquinas *Off-line* se realizaran de manera correcta, se realizó una lista de verificación donde las actividades están separadas en internas y externas, de acuerdo con lo mostrado en la Tabla 3.48, con el objetivo de que el supervisor de la línea tenga un registro y control de las actividades de preparación realizadas por el personal operativo, y tomar acciones correctivas, de ser necesario. El resultado de esta actividad se muestra en la Tabla 3.49.

Tabla 3.49 Lista de verificación de actividades de preparación de Off-line (Fuente: elaboración propia).

Lista de verificación de actividades (Proceso Off-line)							
Realizó:				Turno:			
Operador:				Fecha:			
No.	Actividades internas	¿Se realizó la actividad?		No.	Actividades externas (turno anterior)	¿Se realizó la actividad?	
1	Toma herramienta para desmontar brocas y cortadores.	Sí	No	1	Limpia la base de las máquinas.	Sí	No
2	Desmonta las brocas y los cortadores.	Sí	No	2	Va a almacén de materia prima.	Sí	No
3	Coloca las brocas y los cortadores desmontados en área común.	Sí	No	3	Solicita material de acuerdo a la tijera a fabricar.	Sí	No
4	Coloca la herramienta utilizada en un carrito de herramientas.	Sí	No	4	Regresa a estación de trabajo.	Sí	No
5	Coloca el aceite en el depósito de las máquinas.	Sí	No	5	Va a almacén de mantenimiento.	Sí	No
6	Toma herramienta para montar brocas y cortadores.	Sí	No	6	Toma brocas, cortadores y aceite para las máquinas.	Sí	No
7	Monta brocas y coradores en las máquinas.	Sí	No	7	Regresa a estación de trabajo.	Sí	No
8	Enciende en tablero cabezales, fresadoras, avellanador y bomba de agua.	Sí	No				
9	Toma la herramienta para realizar ajustes.	Sí	No				
10	Ajusta brocas y cortadores	Sí	No				
11	Realiza pruebas en vacío de brocas y cortadores.	Sí	No				
12	Verifica el giro de brocas y cortadores.	Sí	No				
13	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.	Sí	No				
14	Toma una caja de material del depósito de la línea.	Sí	No				
15	Regresa a la estación de trabajo.	Sí	No				
16	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.	Sí	No				
17	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.	Sí	No				
18	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.	Sí	No				
19	Acciona la primera máquina.	Sí	No				
20	Verifica las características del barrenado para tornillo central.	Sí	No				
21	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.	Sí	No				
22	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.	Sí	No				
23	Acciona la segunda máquina.	Sí	No				
24	Verifica las características del barrenado para tornillo central.	Sí	No				
25	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.	Sí	No				
26	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.	Sí	No				
27	Acciona la tercera máquina.	Sí	No				
28	Verifica las características del desvate para resorte.	Sí	No				
29	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.	Sí	No				
30	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.	Sí	No				
31	Acciona la cuarta máquina.	Sí	No				
32	Verifica las características del barrenado para seguro.	Sí	No				
33	Ajusta caída de la herramienta de corte de la cuarta máquina.	Sí	No				
34	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.	Sí	No				
35	Acciona la quinta máquina.	Sí	No				
36	Verifica las características del corte angular para resorte.	Sí	No				
37	Ajusta caída de la herramienta de corte de la quinta máquina.	Sí	No				
38	Lleva la forja a la base de la sexta máquina.	Sí	No				
39	Acciona la sexta máquina.	Sí	No				
40	Verifica las características de la cuerda del agujero para el seguro.	Sí	No				
41	Ajusta caída de la herramienta de corte de la sexta máquina.	Sí	No				
42	Realiza corrida de prueba.	Sí	No				
43	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.	Sí	No				

3.5.5.2.3 Realizar lista de verificación para equipo de protección personal, herramientas y equipo utilizado

Se realizó una lista de verificación para equipo de protección personal, herramientas y equipo utilizado (Tabla 3.50), con el objetivo de evitar que el proceso de preparación de máquinas *Off-line* se vea interrumpido por falta de elementos necesarios para el mismo. Para realizar la lista de verificación se consideraron los siguientes dos aspectos:

- Equipo de protección personal: en esta sección se verifica que el personal operativo del proceso, cuente con todo el equipo de protección personal y que lo esté usando de manera correcta.
- Herramientas y equipo utilizado: en esta sección se verifica que el personal operativo cuente con las herramientas y equipo necesarios para realizar el proceso de máquinas *Off-line*.

Tabla 3.50 Lista de verificación EPP, herramientas y equipo utilizado Off-line (Fuente: elaboración propia.)

Lista de verificación de EPP, herramientas y equipo utilizado		
Realizó:	Turno:	
Operador:	Fecha:	
Equipo de protección personal	¿Se cuenta con el equipo de protección personal?	
Mascarilla APM 10.	Sí	No
Guantes de nitrilo azules.	Sí	No
Gafas de seguridad.	Sí	No
Mandil.	Sí	No
Botas de casquillo industriales.	Sí	No
Herramienta	¿Se cuenta con la herramienta necesaria?	
Broca 17/64".	Sí	No
Broca 21/64".	Sí	No
Broca 1.5 mm y rima 0.0615.	Sí	No
Broca 1/32".	Sí	No
Cortador circular 11/16 3/2 27 TND.	Sí	No
Machuelo M4x 0.7.	Sí	No
Cortador vertical de 1/8.	Sí	No
Broca 3.1 mm.	Sí	No
Cortador vertical 3/16.	Sí	No
Avellanador 1/4" 45°.	Sí	No
Equipo	¿Se cuenta con el equipo necesario?	
Galgas de inspección.	Sí	No
Dispositivo Go no Go.	Sí	No
Plano de tijera en acetato.	Sí	No
Desarmador semiautomático.	Sí	No

3.5.5.3 Fase 2: convertir actividades internas en externas

La aplicación de la segunda fase de *SMED* se realizó con el objetivo de identificar y convertir actividades de preparación internas en externas, para realizar esta actividad, se solicitó el apoyo del personal operativo del proceso, y se realizó un análisis de todas las actividades de preparación, listadas previamente en la Tabla 3.48, para identificar y convertir las actividades internas, que tenían potencial, en externas. El resultado se muestra en la Tabla 3.51.

Tabla 3.51 Conversión de actividades internas en externas Off-line (Fuente: elaboración propia).

Actividades Internas a cambiar	Comentario	Mejora
6. Desmonta las brocas y los cortadores.	La actividad 6 presenta un tiempo de 3.6 minutos. De acuerdo con el personal operativo deben de desmontar las brocas y los cortadores del turno anterior, para posteriormente colocarlos en un área común para su retiro.	Se detectó que una vez terminado un turno únicamente se realiza la limpieza del área. Esta limpieza tiene asignados 15 minutos (los cuales no se ocupan en su totalidad). Con base en esta observación, ahora el personal operativo desmontará las brocas y cortadores una vez terminado el turno, priorizando un mayor tiempo disponible en el inicio del turno siguiente.
5. Toma herramienta para desmontar brocas y cortadores. 7. Coloca las brocas y los cortadores desmontados en área común. 8. Coloca la herramienta utilizada en un carrito de herramientas	Las actividades 5, 7 y 8 son actividades complementarias de la actividad 6, que en conjunto requieren de 4.6 minutos para su ejecución.	Al convertir la actividad 6 de interna a externa, automáticamente las actividades 5, 6 y 7 se convierten en externas también, representando un ahorro de 4.6 minutos, así mismo las máquinas <i>Off-line</i> podrán trabajar 4.6 minutos más.

Una vez realizada la conversión de las actividades internas en externas, se realizó la Tabla 3.52, en la que se muestra la clasificación actualizada de las actividades internas y externas, concluyendo así la fase 2 de *SMED*.

Tabla 3.52 Clasificación actualizada de las actividades internas y externas Off-line (Fuente: elaboración propia).

No.	Actividades internas	Tiempo (min)	No.	Actividades externas (turno anterior)	Tiempo (min)
1	Coloca el aceite en el depósito de las máquinas.	1.50	1	Limpia la base de las máquinas.	1.48
2	Toma herramienta para montar brocas y cortadores.	0.48	2	Toma herramienta para desmontar brocas y cortadores.	0.25
3	Monta brocas y coradores en las máquinas.	2.28	3	Desmonta las brocas y los cortadores.	3.60
4	Enciende en tablero cabezales, fresadoras, avellanador y bomba de agua.	0.38	4	Coloca las brocas y los cortadores desmontados en área común.	0.25
5	Toma la herramienta para realizar ajustes.	0.50	5	Coloca la herramienta utilizada en un carrito de herramientas.	0.50
6	Ajusta brocas y cortadores	2.07	6	Va a almacén de materia prima.	3.50
7	Realiza pruebas en vacío de brocas y cortadores.	1.50	7	Solicita material de acuerdo a la tijera a fabricar.	0.48
8	Verifica el giro de brocas y cortadores.	0.90	8	Regresa a estación de trabajo.	3.48
9	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.	0.87	9	Va a almacén de mantenimiento.	3.90
10	Toma una caja de material del depósito de la línea.	0.58	10	Toma brocas, cortadores y aceite para las máquinas.	2.50
11	Regresa a la estación de trabajo.	0.92	11	Regresa a estación de trabajo.	3.82
12	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.	0.25			
13	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.	0.50			
14	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.	0.20			
15	Acciona la primera máquina.	0.30			
16	Verifica las características del barrenado para tornillo central.	0.50			
17	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.	2.17			
18	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.	0.50			
19	Acciona la segunda máquina.	0.30			
20	Verifica las características del barrenado para tornillo central.	0.50			
21	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.	2.30			
22	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.	0.50			
23	Acciona la tercera máquina.	0.30			
24	Verifica las características del desvate para resorte.	0.50			
25	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.	2.12			
26	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.	0.50			
27	Acciona la cuarta máquina.	0.30			
28	Verifica las características del barrenado para seguro.	0.50			
29	Ajusta caída de la herramienta de corte de la cuarta máquina.	2.40			
30	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.	0.50			
31	Acciona la quinta máquina.	0.30			
32	Verifica las características del corte angular para resorte.	0.50			
33	Ajusta caída de la herramienta de corte de la quinta máquina.	2.33			
34	Lleva la forja a la base de la sexta máquina.	0.50			
35	Acciona la sexta máquina.	0.30			
36	Verifica las características de la cuerda del agujero para el seguro.	0.50			
37	Ajusta caída de la herramienta de corte de la sexta máquina.	1.70			
38	Realiza corrida de prueba.	1.50			
39	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.	1.00			
Tiempo total de actividades internas =		35.76	Tiempo total de actividades externas =		23.77

3.5.5.4 Fase 3: mejorar actividades de preparación

La aplicación de la tercera fase de *SMED* tuvo como objetivo mejorar las actividades de preparación de las máquinas *Off-line*, y con ello agilizar el proceso de preparación, para lograr esto se realizaron las siguientes actividades:

1. Analizar y mejorar actividades internas.
2. Analizar y mejorar actividades externas.
3. Capacitar al personal operativo con el nuevo de proceso de preparación de máquinas *Off-line*.

3.5.5.4.1 Analizar y mejorar actividades internas

Para realizar el análisis y mejora de las actividades internas, se solicitó el apoyo del personal operativo del proceso, ya que con base en su experiencia fue más fácil identificar aquellas actividades que podían ser mejoradas. Las actividades que se realizaron fueron las siguientes:

1. Analizar las actividades internas. Se analizaron las actividades internas mostradas en la Tabla 3.52, en conjunto con el personal operativo para determinar aquellas que tienen potencial de mejora.
2. Elegir actividades con potencial de mejora. Se eligieron las actividades internas con potencial de mejora de acuerdo con la experiencia del personal operativo, el resultado se muestra en Tabla 3.53.
3. Realizar propuesta para la mejora de las actividades internas elegidas. Se realizó una propuesta de mejora para reducir los tiempos de ejecución de las actividades internas elegidas: el resultado se muestra en la Tabla 3.53.

Tabla 3.53 Propuesta de mejora de actividades internas Off-line (Fuente: elaboración propia).

Actividades internas	Descripción	Propuesta para mejora
27. Verifica las características del barrenado para tornillo central. 31. Verifica las características del barrenado para tornillo central. 35. Verifica las características del desvate para resorte. 39. Verifica las características del barrenado para seguro. 43. Verifica las características del corte angular para resorte. 47. Verifica las características de la cuerda del agujero para el seguro.	Las actividades para verificar las características de las operaciones realizadas sobre las forjas pueden llegar a ser repetitivas y tediosas si los ajustes de las máquinas fallan. Ya que el personal operativo tiene que buscar las galgas correspondientes para la medición y los planos de la forja.	Se propuso que en lugar de que las galgas y los planos de las forjas se encuentren en el carrito de herramientas de la estación de trabajo, éstos se adapten en la base de las máquinas ya que hay espacio disponible. Con esta acción se evitará que el personal operativo haga recorridos de búsqueda y se reducirá significativamente el tiempo de las verificaciones al contar con las herramientas a la mano.

3.5.5.4.2 Analizar y mejorar actividades externas

Para realizar el análisis y mejora de las actividades externas, se solicitó el apoyo del personal operativo del proceso, ya que con base en su experiencia fue más fácil identificar aquellas actividades que podían ser mejoradas, Las actividades que se realizaron fueron las siguientes:

1. Analizar las actividades externas. Se analizaron las actividades externas mostradas en la Tabla 3.52, en conjunto con el personal operativo para determinar aquellas que tienen potencial de mejora.
2. Elegir actividades con potencial de mejora. Se eligieron las actividades externas con potencial de mejora de acuerdo con la experiencia del personal operativo; el resultado se muestra en Tabla 3.54.
3. Realizar propuesta para la mejora de las actividades externas elegidas. Se realizaron propuestas de mejora para reducir los tiempos de ejecución de las actividades externas elegidas; el resultado se muestra en la Tabla 3.54.

Tabla 3.54 Propuesta de mejora de actividades externas Off-line (Fuente: elaboración propia).

Actividades externas	Descripción	Propuesta para mejora
2. Va a almacén de materia prima. 3. Solicita material de acuerdo a la tijera a fabricar. 4. Regresa a estación de trabajo.	El personal operativo tiene que acudir hasta el almacén de materia prima a solicitar el material cuando éste se termina, ocasionando pérdida de tiempo por el recorrido realizado y por esperas.	Se propuso que cuando se observe que sólo quedan 8 cajas equivalentes a la producción de dos turnos se dé aviso al supervisor. Éste a su vez pedirá el material a almacén para que se dé prioridad, ya que es de los procesos con tiempos de preparación más largos.
9. Va almacén de mantenimiento. 10. Toma brocas, cortadores y aceite para las máquinas. 11. Regresa a estación de trabajo.	El personal operativo tiene que acudir hasta el almacén de mantenimiento por aceite, brocas y cortadores, ocasionado principalmente por la mala gestión de responsabilidades.	Se propuso delegar un responsable de mantenimiento para abastecer las máquinas con aceite, brocas y cortadores, ya que el personal operativo menciona que son tareas que le corresponden a este departamento.

3.5.5.4.3 Capacitar al personal operativo con el nuevo proceso de preparación de máquinas Off-line

Para facilitar la capacitación del personal operativo con el nuevo proceso de preparación de máquinas Off-line, se realizaron las siguientes actividades:

1. Realizar diagrama de flujo de trabajo del proceso de preparación nuevo.
2. Realizar lista final de verificación para actividades de preparación interna y externa.
3. Realizar lista final de verificación para equipo de protección personal, herramientas y equipo utilizado.

3.5.5.4.3.1 Realizar diagrama de flujo de trabajo del proceso de preparación nuevo

Para realizar el diagrama de flujo de trabajo del proceso de preparación nuevo, para las máquinas *Off-line*, se tomó el orden de las actividades de acuerdo con la clasificación actualizada, realizada en la Sección 3.5.5.3; el resultado se muestra en la Tabla 3.55.

Tabla 3.55 Diagrama proceso nuevo *Off-line* (Fuente: elaboración propia).

Diagrama de flujo de trabajo							
Actividad: proceso de preparación de máquinas <i>Off-line</i> .							
Resumen			Datos				
	Tipo de actividad	Número	Página: 1 de 1.				
●	Operación	31	Enfoque: actual.				
■	Inspección	8	Empresa: NOVA.				
➡	Transporte	11	Proceso: <i>Off-line</i> .				
■	Demora	0	Tipo de diagrama: diagrama de flujo de trabajo.				
▼	Almacenamiento	0	Elaboró: Ing. Martín Flores Zuñiga				
Tiempo total = 35.76 min.		50	Fecha: 29/10/2024				
No.	Actividad	Símbolo					Tiempo (minutos)
		Oper.	Inspe.	Tasp.	Demor.	Almac.	
1	Limpia la base de las máquinas.	●					Se realizan mientras la máquina trabaja
2	Toma herramienta para desmontar brocas y cortadores.	●	■	➡	■	▼	
3	Desmonta las brocas y los cortadores.	●		➡	■	▼	
4	Coloca las brocas y los cortadores desmontados en área común.	●		➡	■	▼	
5	Coloca la herramienta utilizada en un carrito de herramientas.	●		➡	■	▼	
6	Va a almacén de materia prima.	●		➡	■	▼	
7	Solicita material de acuerdo a la tijera a fabricar.	●		➡	■	▼	
8	Regresa a estación de trabajo.	●	■	➡	■	▼	
9	Va a almacén de mantenimiento.	●		➡	■	▼	
10	Toma brocas, cortadores y aceite para las máquinas.	●		➡	■	▼	
11	Regresa a estación de trabajo.	●	■	➡	■	▼	
12	Coloca el aceite en el depósito de las máquinas.	●	■	➡	■	▼	1.50
13	Toma herramienta para montar brocas y cortadores.	●		➡	■	▼	0.48
14	Monta brocas y coradores en las máquinas.	●	■	➡	■	▼	2.28
15	Enciende en tablero cabezales, fresadoras, avellanador y bomba de agua.	●	■	➡	■	▼	0.38
16	Toma la herramienta para realizar ajustes.	●		➡	■	▼	0.50
17	Ajusta brocas y cortadores	●	■	➡	■	▼	2.07
18	Realiza pruebas en vacío de brocas y cortadores.	●	■	➡	■	▼	1.50
19	Verifica el giro de brocas y cortadores.	●	■		■	▼	0.90
20	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.	●		➡	■	▼	0.87
21	Toma una caja de material del depósito de la línea.	●	■	➡	■	▼	0.58
22	Regresa a la estación de trabajo.	●	■	➡	■	▼	0.92
23	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.	●		➡	■	▼	0.25
24	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.	●	■	➡	■	▼	0.50
25	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.	●		➡	■	▼	0.20
26	Acciona la primera máquina.	●	■	➡	■	▼	0.30
27	Verifica las características del barrenado para tornillo central.	●	■	➡	■	▼	0.50
28	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.	●	■	➡	■	▼	2.17
29	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.	●		➡	■	▼	0.50
30	Acciona la segunda máquina.	●	■	➡	■	▼	0.30
31	Verifica las características del barrenado para tornillo central.	●	■	➡	■	▼	0.50
32	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.	●	■	➡	■	▼	2.30
33	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.	●		➡	■	▼	0.50
34	Acciona la tercera máquina.	●	■	➡	■	▼	0.30
35	Verifica las características del desvate para resorte.	●	■	➡	■	▼	0.50
36	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.	●	■	➡	■	▼	2.12
37	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.	●		➡	■	▼	0.50
38	Acciona la cuarta máquina.	●	■	➡	■	▼	0.30
39	Verifica las características del barrenado para seguro.	●	■	➡	■	▼	0.50
40	Ajusta caída de la herramienta de corte de la cuarta máquina.	●	■	➡	■	▼	2.40
41	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.	●		➡	■	▼	0.50
42	Acciona la quinta máquina.	●	■	➡	■	▼	0.30
43	Verifica las características del corte angular para resorte.	●	■	➡	■	▼	0.50
44	Ajusta caída de la herramienta de corte de la quinta máquina.	●	■	➡	■	▼	2.33
45	Lleva la forja a la base de la sexta máquina.	●		➡	■	▼	0.50
46	Acciona la sexta máquina.	●	■	➡	■	▼	0.30
47	Verifica las características de la cuerda del agujero para el seguro.	●	■	➡	■	▼	0.50
48	Ajusta caída de la herramienta de corte de la sexta máquina.	●	■	➡	■	▼	1.70
49	Realiza corrida de prueba.	●	■	➡	■	▼	1.50
50	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.	●	■	➡	■	▼	1.00
Total =		31	8	11	0	0	35.76

3.5.5.4.3.2 Realizar lista final de verificación para actividades de preparación internas y externa

Para realizar la lista final de verificación para las actividades de preparación internas y externas, se consideró la clasificación actualizada, realizada en la Sección 3.5.5.3; el resultado se muestra en la Tabla 3.56.

Tabla 3.56 Lista final de verificación de actividades Off-line (Fuente: elaboración propia).

Lista de verificación de actividades (Proceso Off-line)							
Realizó:				Turno:			
Operador:				Fecha:			
No.	Actividades internas	¿Se realizó la actividad?		No.	Actividades externas (turno anterior)	¿Se realizó la actividad?	
1	Coloca el aceite en el depósito de las máquinas.	Sí	No	1	Limpia la base de las máquinas.	Sí	No
2	Toma herramienta para montar brocas y cortadores.	Sí	No	2	Toma herramienta para desmontar brocas y cortadores.	Sí	No
3	Monta brocas y coradores en las máquinas.	Sí	No	3	Desmonta las brocas y los cortadores.	Sí	No
4	Enciende en tablero cabezales, fresadoras, avellanador y bomba de agua.	Sí	No	4	Coloca las brocas y los cortadores desmontados en área común.	Sí	No
5	Toma la herramienta para realizar ajustes.	Sí	No	5	Coloca la herramienta utilizada en un carrito de herramientas.	Sí	No
6	Ajusta brocas y cortadores	Sí	No	6	Va a almacén de materia prima.	Sí	No
7	Realiza pruebas en vacío de brocas y cortadores.	Sí	No	7	Solicita material de acuerdo a la tijera a fabricar.	Sí	No
8	Verifica el giro de brocas y cortadores.	Sí	No	8	Regresa a estación de trabajo.	Sí	No
9	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.	Sí	No	9	Va a almacén de mantenimiento.	Sí	No
10	Toma una caja de material del depósito de la línea.	Sí	No	10	Toma brocas, cortadores y aceite para las máquinas.	Sí	No
11	Regresa a la estación de trabajo.	Sí	No	11	Regresa a estación de trabajo.	Sí	No
12	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.	Sí	No				
13	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.	Sí	No				
14	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.	Sí	No				
15	Acciona la primera máquina.	Sí	No				
16	Verifica las características del barrenado para tornillo central.	Sí	No				
17	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.	Sí	No				
18	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.	Sí	No				
19	Acciona la segunda máquina.	Sí	No				
20	Verifica las características del barrenado para tornillo central.	Sí	No				
21	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.	Sí	No				
22	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.	Sí	No				
23	Acciona la tercera máquina.	Sí	No				
24	Verifica las características del desvate para resorte.	Sí	No				
25	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.	Sí	No				
26	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.	Sí	No				
27	Acciona la cuarta máquina.	Sí	No				
28	Verifica las características del barrenado para seguro.	Sí	No				
29	Ajusta caída de la herramienta de corte de la cuarta máquina.	Sí	No				
30	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.	Sí	No				
31	Acciona la quinta máquina.	Sí	No				
32	Verifica las características del corte angular para resorte.	Sí	No				
33	Ajusta caída de la herramienta de corte de la quinta máquina.	Sí	No				
34	Lleva la forja a la base de la sexta máquina.	Sí	No				
35	Acciona la sexta máquina.	Sí	No				
36	Verifica las características de la cuerda del agujero para el seguro.	Sí	No				
37	Ajusta caída de la herramienta de corte de la sexta máquina.	Sí	No				
38	Realiza corrida de prueba.	Sí	No				
39	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.	Sí	No				

3.5.5.4.3.2 Realizar lista final de verificación para equipo de protección personal, herramientas y equipo utilizado

Debido a que no se realizó ningún cambio en el equipo de protección personal, herramientas y equipo utilizado, la lista de verificación realizada en la Sección 3.5.5.2.3 debe seguir utilizándose. Para facilidad de lectura, esta lista se muestra en la Tabla 3.57.

Tabla 3.57 Lista final de verificación para EPP, herramientas y equipo utilizado
Off-line (Fuente: elaboración propia).

Lista de verificación de EPP, herramientas y equipo utilizado		
Realizó:	Turno:	
Operador:	Fecha:	
Equipo de protección personal	¿Se cuenta con el equipo de protección personal?	
Mascarilla APM 10.	Sí	No
Guantes de nitrilo azules.	Sí	No
Gafas de seguridad.	Sí	No
Mandil.	Sí	No
Botas de casquillo industriales.	Sí	No
Herramienta	¿Se cuenta con la herramienta necesaria?	
Broca 17/64".	Sí	No
Broca 21/64".	Sí	No
Broca 1.5 mm y rima 0.0615.	Sí	No
Broca 1/32".	Sí	No
Cortador circular 11/16 3/2 27 TND.	Sí	No
Machuelo M4x 0.7.	Sí	No
Cortador vertical de 1/8.	Sí	No
Broca 3.1 mm.	Sí	No
Cortador vertical 3/16.	Sí	No
Avellanador 1/4" 45°.	Sí	No
Equipo	¿Se cuenta con el equipo necesario?	
Galgas de inspección.	Sí	No
Dispositivo Go no Go.	Sí	No
Plano de tijera en acetato.	Sí	No
Desarmador semiautomático.	Sí	No

3.5.6 Aplicar *SMED* para reducir los tiempos de preparación de máquinas *Crush & Broach*

En la línea de producción LP 2 se ha identificado la necesidad de aplicar *SMED*, en el proceso de *Crush & Broach*, con el objetivo de reducir los tiempos de preparación de las máquinas (Sección 3.3.4). Para lograr la reducción de los tiempos de preparación se realizaron las cuatro fases de *SMED* mostradas previamente en la Figura 3.34.

3.5.6.1 Fase preliminar: identificar actividades internas y externas

La fase preliminar, en la aplicación de *SMED*, tuvo como objetivo identificar las actividades internas y externas que el personal operativo realiza para la preparación de máquinas *Crush & Broach*. Para llevar a cabo esta fase, se realizaron las siguientes actividades:

1. Realizar listado de actividades de preparación.
2. Realizar diagrama de flujo de trabajo del proceso de preparación.
3. Medir el tiempo del proceso de preparación actual.
4. Identificar actividades internas y externas del proceso de preparación actual.
5. Analizar porcentajes de contribución de las actividades de preparación.

3.5.6.1.1 Realizar listado de actividades de preparación

Para realizar el listado de las actividades de preparación, de las máquinas *Crush & Broach*, se realizó una observación del proceso de preparación. Durante esta actividad se supervisó de manera presencial cada etapa de la preparación, registrando en tiempo real todas las actividades realizadas por el personal operativo; el listado de las actividades se muestra en la Tabla 3.58.

Tabla 3.58 Listado de actividades de preparación *Crush & Broach* (Fuente: elaboración propia).

No.	Actividad	No.	Actividad
1	Limpia la base de las máquinas.	23	Acciona la primera máquina.
2	Toma herramienta para desmontar.	24	Verifica las características del corte angular para resorte.
3	Desmonta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	25	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.
4	Coloca lo desmontado en área común.	26	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.
5	Coloca la herramienta utilizada en un carrito.	27	Acciona la segunda máquina.
6	Va a almacén de mantenimiento.	28	Verifica las características del doble barrenado para pines.
7	Toma brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	29	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.
8	Regresa a estación de trabajo.	30	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.
9	Enciende bomba y abre válvulas de refrigerante.	31	Acciona la tercera máquina.
10	Toma herramienta para montar brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	32	Verifica las características del avellando para pines.
11	Monta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	33	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.
12	Enciende en tablero máquinas (taladros, crush grinder y máquina brochadora).	34	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.
13	Toma la herramienta para realizar ajustes.	35	Acciona la cuarta máquina.
14	Ajusta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	36	Verifica las características del angulo de la piedra abrasiva.
15	Realiza pruebas en vacío.	37	Ajusta la posición de la piedra abrasiva de la cuarta máquina.
16	Verifica el funcionamiento de brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	38	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.
17	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.	39	Acciona la quinta máquina.
18	Toma una caja de material del depósito de la línea.	40	Verifica las características del ovalo con varilla brochadora para tornillo.
19	Regresa a la estación de trabajo.	41	Ajusta subida de varilla brochadora de la quinta máquina.
20	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.	42	Realiza corrida de prueba.
21	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.	43	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.
22	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.		

3.5.6.1.2 Realizar diagrama de flujo de trabajo del proceso de preparación

De acuerdo con la lista de actividades de preparación realizadas (Sección 3.5.6.1.1) se realizó un diagrama de flujo de trabajo del proceso de preparación de máquinas *Crush & Broach* (Tabla 3.59), el objetivo de este diagrama fue representar de manera gráfica las actividades realizadas, el tiempo de cada actividad, y el tipo de cada una: operación, transporte, inspección, demora y almacenamiento.

Tabla 3.59 Diagrama de flujo de trabajo *Crush & Broach* (Fuente: elaboración propia).

Diagrama de flujo de trabajo								
Actividad: proceso de preparación de máquinas <i>Crush & Broach</i> .								
Resumen			Datos					
	Tipo de actividad	Número	Página: 1 de 1.					
●	Operación	28	Enfoque: actual.					
■	Inspección	7	Empresa: NOVA.					
➡	Transporte	8	Proceso: <i>Crush & Broach</i> .					
■	Demora	0	Tipo de diagrama: diagrama de flujo de trabajo.					
▼	Almacenamiento	0	Elaboró: Ing. Martín Flores Zuñiga					
Tiempo total = 43.99 min.		43	Fecha: 12/11/2024					
No.	Actividad		Símbolo					Tiempo (minutos)
			Oper.	Inspe.	Transp.	Demor.	Almace.	
1	Limpia la base de las máquinas.		●					1.28
2	Toma herramienta para desmontar.		●	■	➡	■	▼	0.25
3	Desmonta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.		●	■	➡	■	▼	3.53
4	Coloca lo desmontado en área común.		●			■	▼	0.25
5	Coloca la herramienta utilizada en un carrito.		●	■	➡	■	▼	0.50
6	Va a almacén de mantenimiento.		●		➡	■	▼	3.58
7	Toma brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.		●	■			▼	2.33
8	Regresa a estación de trabajo.		●		➡	■	▼	3.50
9	Enciende bomba y abre válvulas de refrigerante.		●		➡	■	▼	0.33
10	Toma herramienta para montar brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.		●	■			▼	0.40
11	Monta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.		●	■	➡	■	▼	2.28
12	Enciende en tablero máquinas (taladros, crush grinder y máquina brochadora).		●	■	➡	■	▼	0.37
13	Toma la herramienta para realizar ajustes.		●	■			▼	0.45
14	Ajusta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.		●	■	➡	■	▼	1.97
15	Realiza pruebas en vacío.		●	■	➡	■	▼	1.50
16	Verifica el funcionamiento de brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.		●	■		■	▼	0.90
17	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.		●	■	➡	■	▼	0.87
18	Toma una caja de material del depósito de la línea.		●	■	➡	■	▼	0.58
19	Regresa a la estación de trabajo.		●	■	➡	■	▼	0.92
20	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.		●	■	➡	■	▼	0.25
21	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.		●	■	➡	■	▼	0.47
22	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.		●	■	➡	■	▼	0.20
23	Acciona la primera máquina.		●	■	➡	■	▼	0.30
24	Verifica las características del corte angular para resorte.		●	■	➡	■	▼	0.50
25	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.		●	■	➡	■	▼	1.85
26	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.		●	■	➡	■	▼	0.50
27	Acciona la segunda máquina.		●	■	➡	■	▼	0.30
28	Verifica las características del doble barrenado para pines.		●	■	➡	■	▼	0.50
29	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.		●	■	➡	■	▼	2.00
30	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.		●	■	➡	■	▼	0.50
31	Acciona la tercera máquina.		●	■	➡	■	▼	0.30
32	Verifica las características del avellando para pines.		●	■	➡	■	▼	0.50
33	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.		●	■	➡	■	▼	1.78
34	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.		●	■	➡	■	▼	0.50
35	Acciona la cuarta máquina.		●	■	➡	■	▼	0.30
36	Verifica las características del angulo de la piedra abrasiva.		●	■	➡	■	▼	0.50
37	Ajusta la posición de la piedra abrasiva de la cuarta máquina.		●	■	➡	■	▼	1.92
38	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.		●	■	➡	■	▼	0.50
39	Acciona la quinta máquina.		●	■	➡	■	▼	0.30
40	Verifica las características del ovalo con varilla brochadora para tornillo.		●	■	➡	■	▼	0.50
41	Ajusta subida de varilla brochadora de la quinta máquina.		●	■	➡	■	▼	1.22
42	Realiza corrida de prueba.		●	■	➡	■	▼	1.50
43	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.		●	■	➡	■	▼	1.00
Total =			28	7	8	0	0	43.99

3.5.6.1.3 Medir el tiempo del proceso de preparación actual

Para realizar la medición del tiempo del proceso de preparación de máquinas *Crush & Broach*, se tomaron en cuenta las actividades realizadas por el personal operativo en dicho proceso, mismas que se mostraron en la Tabla 3.59. Para realizar la medición del tiempo del proceso de preparación actual se realizaron las siguientes actividades:

1. Medición de tiempos preliminares: se realizó la medición de tiempos preliminares (Sección 3.3.4.1). Se tomaron seis ciclos para los tiempos de las máquinas *Crush & Broach*.
2. Cálculo de número de ciclos óptimos: se realizó el cálculo del número de ciclos óptimos (Sección 3.3.4.2), utilizando el método estadístico por fórmula directa para que el estudio tuviera validez estadística.
3. Medición de tiempos de ciclos faltantes: no hubo necesidad de realizar la medición de tiempos de ciclos faltantes (Sección 3.3.4.3), ya que con los seis ciclos tomados en la Sección 3.3.4.1 fue suficiente.
4. Cálculo del tiempo total de preparación: el cálculo del tiempo total de preparación de las máquinas *Crush & Broach* se realizó calculando el promedio de los tiempos obtenidos durante la medición de tiempos preliminares (Sección 3.3.4.1), obteniendo un **tiempo promedio total de preparación de 43.99 minutos para las máquinas *Crush & Broach*.**

3.5.6.1.4 Identificar actividades internas y externas del proceso de preparación actual

Para realizar la identificación de las actividades internas y externas del proceso de preparación actual de las máquinas *Crush & Broach*, se entrevistó al personal operativo para identificar cuáles actividades, de las listadas en la Tabla 3.58, eran internas y cuáles eran externas de acuerdo con su experiencia.

Una vez identificadas las actividades internas y externas se realizó la Tabla 3.60, en la que cada actividad fue clasificada como interna o externa de acuerdo con la experiencia del personal operativo. Además, se muestra el tiempo de ejecución y el porcentaje de contribución correspondiente a cada actividad.

Tabla 3.60 Actividades internas y externas Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).

No.	Actividad	Tipo de operación	Tiempo (segundos)	Porcentaje de contribución
1	Limpia la base de las máquinas.	Externa	77	2.9%
2	Toma herramienta para desmontar.	Interna	15	0.6%
3	Desmonta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Interna	212	8.0%
4	Coloca lo desmontado en área común.	Interna	15	0.6%
5	Coloca la herramienta utilizada en un carrito.	Interna	30	1.1%
6	Va a almacén de mantenimiento.	Externa	215	8.1%
7	Toma brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Externa	140	5.3%
8	Regresa a estación de trabajo.	Externa	210	8.0%
9	Enciende bomba y abre válvulas de refrigerante.	Interna	20	0.8%
10	Toma herramienta para montar brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Interna	24	0.9%
11	Monta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Interna	137	5.2%
12	Enciende en tablero máquinas (taladros, crush grinder y máquina brochadora).	Interna	22	0.8%
13	Toma la herramienta para realizar ajustes.	Interna	27	1.0%
14	Ajusta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Interna	118	4.5%
15	Realiza pruebas en vacío.	Interna	90	3.4%
16	Verifica el funcionamiento de brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Interna	54	2.0%
17	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.	Interna	52	2.0%
18	Toma una caja de material del depósito de la línea.	Interna	35	1.3%
19	Regresa a la estación de trabajo.	Interna	55	2.1%
20	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.	Interna	15	0.6%
21	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.	Interna	28	1.1%
22	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.	Interna	12	0.5%
23	Acciona la primera máquina.	Interna	18.1	0.7%
24	Verifica las características del corte angular para resorte.	Interna	30	1.1%
25	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.	Interna	111	4.2%
26	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.	Interna	30	1.1%
27	Acciona la segunda máquina.	Interna	18.1	0.7%
28	Verifica las características del doble barrenado para pines.	Interna	30	1.1%
29	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.	Interna	120	4.5%
30	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.	Interna	30	1.1%
31	Acciona la tercera máquina.	Interna	18.1	0.7%
32	Verifica las características del avellando para pines.	Interna	30	1.1%
33	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.	Interna	107	4.1%
34	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.	Interna	30	1.1%
35	Acciona la cuarta máquina.	Interna	18.1	0.7%
36	Verifica las características del angulo de la piedra abrasiva.	Interna	30	1.1%
37	Ajusta la posición de la piedra abrasiva de la cuarta máquina.	Interna	115	4.4%
38	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.	Interna	30	1.1%
39	Acciona la quinta máquina.	Interna	18.1	0.7%
40	Verifica las características del ovalo con varilla brochadora para tornillo.	Interna	30	1.1%
41	Ajusta subida de varilla brochadora de la quinta máquina.	Interna	73	2.8%
42	Realiza corrida de prueba.	Interna	90	3.4%
43	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.	Interna	60	2.3%
Total =			2639.5	100%

3.5.6.1.5 Analizar porcentajes de contribución de las actividades de preparación

El análisis de los porcentajes de contribución de las actividades de preparación de las máquinas *Crush and Broach*, mostrados en la Tabla 3.60, se realizó con el objetivo de comprender las razones detrás de las actividades con los porcentajes de contribución más altos.

Para realizar esta actividad se solicitó el apoyo del personal operativo de este proceso, quien ayudo a identificar, de acuerdo con su experiencia, las causas por las que estas actividades presentaron un porcentaje de contribución significativamente mayor que el resto; el resultado se muestra en la Tabla 3.61.

Tabla 3.61 Análisis de porcentajes de contribución *Crush & Broach* (Fuente: elaboración propia).

No.	Actividad	%	¿Por qué presenta un porcentaje de contribución alto?
3	Desmonta las brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	8.0%	El operador tiene que desmontar las brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora del turno anterior.
6	Va a almacén de mantenimiento.	8.1%	El operador tiene que ir al almacén de mantenimiento por las herramientas que utiliza para trabajar.
7	Toma brocas, cortadores, piedras abrasivas y varilla brochadora.	5.3%	El operador tiene que solicitar las herramientas que ocupará en almacén.
8	Regresa a estación de trabajo.	8.0%	El operador debe regresar a su estación de trabajo, con los materiales para seguir con el proceso de preparación.
11	Monta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	5.2%	El operador tiene que montar cuatro brocas, un avellanador y una fresa para comenzar a trabajar.

3.5.6.2 Fase 1: separar actividades internas y externas

La aplicación de la primera fase de *SMED* tuvo como objetivo separar y clasificar las actividades de preparación de las máquinas *Crush & Broach* como internas o externas, y asegurar que éstas se ejecuten de manera correcta. Para la aplicación de la fase 1 se realizaron las siguientes actividades:

1. Separar las actividades de preparación como internas o externas.
2. Realizar lista de verificación para control de operaciones internas y externas.
3. Realizar lista de verificación para equipo de protección personal, herramientas y equipo utilizado.

3.5.6.2.1 Separar las actividades de preparación como internas o externas

Para separar las actividades de preparación de las máquinas *Crush & Broach* como internas o externas, se realizó la Tabla 3.62. En esta tabla se muestra lo siguiente:

- El orden de secuencia que siguen y los tiempos de realización de cada una.
- Que el tiempo total de las actividades de preparación internas fue de 33.29 minutos.
- Que el tiempo total de las actividades de preparación externa fue de 10.70 minutos.

Con estos resultados se concluye que **la máquina puede trabajar 10.70 minutos más**, debido a que **el tiempo total de preparación pasó de 43.99 (Tabla 3.12) a 33.29 minutos**.

Tabla 3.62 Separación de actividades internas y externas *Crush & Broach* (Fuente: elaboración propia).

No.	Actividades internas	Tiempo (min)	No.	Actividades externas (turno anterior)	Tiempo (min)
1	Toma herramienta para desmontar.	0.25	1	Limpia la base de las máquinas.	1.28
2	Desmonta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	3.53	2	Va a almacén de mantenimiento.	3.58
3	Coloca lo desmontado en área común.	0.25	3	Toma brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	2.33
4	Coloca la herramienta utilizada en un carrito.	0.50	4	Regresa a estación de trabajo.	3.50
5	Enciende bomba y abre válvulas de refrigerante.	0.33			
6	Toma herramienta para montar brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	0.40			
7	Monta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	2.28			
8	Enciende en tablero máquinas (taladros, crush grinder y máquina brochadora).	0.37			
9	Toma la herramienta para realizar ajustes.	0.45			
10	Ajusta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	1.97			
11	Realiza pruebas en vacío.	1.50			
12	Verifica el funcionamiento de brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	0.90			
13	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.	0.87			
14	Toma una caja de material del depósito de la línea.	0.58			
15	Regresa a la estación de trabajo.	0.92			
16	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.	0.25			
17	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.	0.47			
18	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.	0.20			
19	Acciona la primera máquina.	0.30			
20	Verifica las características del corte angular para resorte.	0.50			
21	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.	1.85			
22	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.	0.50			
23	Acciona la segunda máquina.	0.30			
24	Verifica las características del doble barrenado para pines.	0.50			
25	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.	2.00			
26	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.	0.50			
27	Acciona la tercera máquina.	0.30			
28	Verifica las características del avellando para pines.	0.50			
29	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.	1.78			
30	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.	0.50			
31	Acciona la cuarta máquina.	0.30			
32	Verifica las características del angulo de la piedra abrasiva.	0.50			
33	Ajusta la posición de la piedra abrasiva de la cuarta máquina.	1.92			
34	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.	0.50			
35	Acciona la quinta máquina.	0.30			
36	Verifica las características del ovalo con varilla brochadora para tornillo.	0.50			
37	Ajusta subida de varilla brochadora de la quinta máquina.	1.22			
38	Realiza corrida de prueba.	1.50			
39	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.	1.00			
Tiempo total de actividades internas =		33.29	Tiempo total de actividades externas =		10.70

3.5.6.2.2 Realizar lista de verificación para control de operaciones internas y externas

Para verificar que las actividades de preparación de las máquinas *Crush & Broach* se realizaran de manera correcta, se realizó una lista de verificación donde las actividades están separadas en internas y externas, de acuerdo con lo mostrado en la Tabla 3.62.

Con el objetivo de que el supervisor de la línea tenga un registro y control de las actividades de preparación realizadas por el personal operativo, y tomar acciones correctivas, de ser necesario. El resultado de esta actividad se muestra en la Tabla 3.63.

Tabla 3.63 Lista de verificación de actividades Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).

Lista de verificación de actividades (Proceso Crush & Broach)							
Realizó:				Turno:			
Operador:				Fecha:			
No.	Actividades internas	¿Se realizó la actividad?		No.	Actividades externas (turno anterior)	¿Se realizó la actividad?	
1	Toma herramienta para desmontar.	Sí	No	1	Limpia la base de las máquinas.	Sí	No
2	Desmonta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Sí	No	2	Va a almacén de mantenimiento.	Sí	No
3	Coloca lo desmontado en área común.	Sí	No	3	Toma brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Sí	No
4	Coloca la herramienta utilizada en un carrito.	Sí	No	4	Regresa a estación de trabajo.	Sí	No
5	Enciende bomba y abre válvulas de refrigerante.	Sí	No				
6	Toma herramienta para montar brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Sí	No				
7	Monta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Sí	No				
8	Enciende en tablero máquinas (taladros, crush grinder y máquina brochadora).	Sí	No				
9	Toma la herramienta para realizar ajustes.	Sí	No				
10	Ajusta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Sí	No				
11	Realiza pruebas en vacío.	Sí	No				
12	Verifica el funcionamiento de brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Sí	No				
13	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.	Sí	No				
14	Toma una caja de material del depósito de la línea.	Sí	No				
15	Regresa a la estación de trabajo.	Sí	No				
16	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.	Sí	No				
17	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.	Sí	No				
18	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.	Sí	No				
19	Acciona la primera máquina.	Sí	No				
20	Verifica las características del corte angular para resorte.	Sí	No				
21	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.	Sí	No				
22	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.	Sí	No				
23	Acciona la segunda máquina.	Sí	No				
24	Verifica las características del doble barrenado para pines.	Sí	No				
25	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.	Sí	No				
26	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.	Sí	No				
27	Acciona la tercera máquina.	Sí	No				
28	Verifica las características del avellando para pines.	Sí	No				
29	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.	Sí	No				
30	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.	Sí	No				
31	Acciona la cuarta máquina.	Sí	No				
32	Verifica las características del angulo de la piedra abrasiva.	Sí	No				
33	Ajusta la posición de la piedra abrasiva de la cuarta máquina.	Sí	No				
34	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.	Sí	No				
35	Acciona la quinta máquina.	Sí	No				
36	Verifica las características del ovalo con varilla brochadora para tornillo.	Sí	No				
37	Ajusta subida de varilla brochadora de la quinta máquina.	Sí	No				
38	Realiza corrida de prueba.	Sí	No				
39	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.	Sí	No				

3.5.6.2.3 Realizar lista de verificación para equipo de protección personal, herramientas y equipo utilizado

Se realizó una lista de verificación para equipo de protección personal, herramientas y equipo utilizado (Tabla 3.64), con el objetivo de evitar que el proceso de preparación de máquinas *Crush & Broach* se vea interrumpido por falta de elementos necesarios para el mismo. Para realizar la lista de verificación se consideraron los siguientes dos aspectos:

- Equipo de protección personal: en esta sección se verifica que el personal operativo del proceso, cuente con todo el equipo de protección personal y que lo esté usando de manera correcta.
- Herramientas y equipo utilizado: en esta sección se verifica que el personal operativo cuente con las herramientas y equipo necesarios para realizar el proceso de máquinas *Crush & Broach*.

Tabla 3.64 Lista de verificación de EPP, herramientas y equipo utilizado
Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).

Lista de verificación de EPP, herramientas y equipo utilizado		
Realizó:	Turno:	
Operador:	Fecha:	
Equipo de protección personal	¿Se cuenta con el equipo de protección personal?	
Mascarilla APM 10.	Sí	No
Guantes de nitrilo azules.	Sí	No
Gafas de seguridad.	Sí	No
Mandil.	Sí	No
Botas de casquillo industriales.	Sí	No
Herramienta	¿Se cuenta con la herramienta necesaria?	
Cortador vertical de 1/8.	Sí	No
Broca 3.1 mm.	Sí	No
Cortador vertical 3/16.	Sí	No
Avellanador 1/4" 45°.	Sí	No
Varilla brochadora tipo "A"	Sí	No
Rueda Crush punta 035	Sí	No
Rueda Crush interior 028	Sí	No
Equipo	¿Se cuenta con el equipo necesario?	
Galgas de inspección.	Sí	No
Dispositivo Go no Go.	Sí	No
Plano de tijera en acetato.	Sí	No
Desarmador semiautomático.	Sí	No

3.5.6.3 Fase 2: convertir actividades internas en externas

La aplicación de la segunda fase de *SMED* se realizó con el objetivo de identificar y convertir actividades de preparación internas en externas, para realizar esta actividad, se solicitó el apoyo del personal operativo del proceso, y se realizó un análisis de todas las actividades de preparación, listadas previamente en la Tabla 3.58, para identificar y convertir las actividades internas, que tenían potencial, en externas. El resultado se muestra en la Tabla 3.65.

Tabla 3.65 Conversión de actividades internas en externas Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).

Actividades Internas a cambiar	Comentario	Mejora
3. Desmonta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	La actividad 3 presenta un tiempo de 3.53 minutos. De acuerdo con el personal operativo deben desmontar brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora del turno anterior, para posteriormente colocarlos en un área común para su retiro.	Se detectó que el personal operativo tiene asignados 15 minutos para limpieza (los cuales no se ocupan en su totalidad y en ocasiones ocupan más tiempo). Con base en esta observación, ahora el personal operativo desmontará brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora una vez terminado el turno.
2. Toma herramienta para desmontar. 4. Coloca lo desmontado en área común. 5. Coloca la herramienta utilizada en un carrito.	Las actividades 2, 4 y 5 son actividades complementarias de la actividad 3, que en conjunto requieren de 4.53 minutos para su ejecución.	Al convertir la actividad 3 de interna a externa, automáticamente las actividades 2, 4 y 5 se convierten en externas también, representando un ahorro de 4.53 minutos, así mismo las máquinas <i>Crush & Broach</i> podrán trabajar 4.53 minutos más.

Una vez realizada la conversión de las actividades internas en externas, se realizó la Tabla 3.66, en la que se muestra la clasificación actualizada de las actividades internas y externas, concluyendo así la fase 2 de *SMED*.

Tabla 3.66 Clasificación actualizada actividades internas y externas Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).

No.	Actividades internas	Tiempo (min)	No.	Actividades externas (turno anterior)	Tiempo (min)
1	Enciende bomba y abre válvulas de refrigerante.	0.33	1	Limpia la base de las máquinas.	1.28
2	Toma herramienta para montar brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	0.40	2	Toma herramienta para desmontar.	0.25
3	Monta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	2.28	3	Desmonta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	3.53
4	Enciende en tablero máquinas (taladros, crush grinder y máquina brochadora).	0.37	4	Coloca lo desmontado en área común.	0.25
5	Toma la herramienta para realizar ajustes.	0.45	5	Coloca la herramienta utilizada en un carrito.	0.50
6	Ajusta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	1.97	6	Va a almacén de mantenimiento.	3.58
7	Realiza pruebas en vacío.	1.50	7	Toma brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	2.33
8	Verifica el funcionamiento de brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	0.90	8	Regresa a estación de trabajo.	3.50
9	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.	0.87			
10	Toma una caja de material del depósito de la línea.	0.58			
11	Regresa a la estación de trabajo.	0.92			
12	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.	0.25			
13	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.	0.47			
14	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.	0.20			
15	Acciona la primera máquina.	0.30			
16	Verifica las características del corte angular para resorte.	0.50			
17	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.	1.85			
18	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.	0.50			
19	Acciona la segunda máquina.	0.30			
20	Verifica las características del doble barrenado para pines.	0.50			
21	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.	2.00			
22	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.	0.50			
23	Acciona la tercera máquina.	0.30			
24	Verifica las características del avellando para pines.	0.50			
25	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.	1.78			
26	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.	0.50			
27	Acciona la cuarta máquina.	0.30			
28	Verifica las características del ángulo de la piedra abrasiva.	0.50			
29	Ajusta la posición de la piedra abrasiva de la cuarta máquina.	1.92			
30	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.	0.50			
31	Acciona la quinta máquina.	0.30			
32	Verifica las características del ovalo con varilla brochadora para tornillo.	0.50			
33	Ajusta subida de varilla brochadora de la quinta máquina.	1.22			
34	Realiza corrida de prueba.	1.50			
35	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.	1.00			
Tiempo total de actividades internas =		28.76	Tiempo total de actividades externas =		15.23

3.5.6.4 Fase 3: mejorar actividades de preparación

La aplicación de la tercera fase de *SMED* tuvo como objetivo mejorar las actividades de preparación de las máquinas *Crush & Broach*, mediante las siguientes actividades:

1. Analizar y mejorar actividades internas.
2. Analizar y mejorar actividades externas.
3. Capacitar al personal operativo con el nuevo de proceso de preparación de máquinas *Crush & Broach*.

3.5.6.4.1 Analizar y mejorar actividades internas

Para realizar el análisis y mejora de las actividades internas, se solicitó el apoyo del personal operativo del proceso, ya que con base en su experiencia fue más fácil identificar aquellas actividades que podían ser mejoradas. Las actividades que se realizaron fueron las siguientes:

1. Analizar las actividades internas. Se analizaron las actividades internas mostradas en la Tabla 3.66, en conjunto con el personal operativo para determinar aquellas que tienen potencial de mejora.
2. Elegir actividades con potencial de mejora. Se eligieron las actividades internas con potencial de mejora de acuerdo con la experiencia del personal operativo, el resultado se muestra en Tabla 3.67.
3. Realizar propuesta para la mejora de las actividades internas elegidas. Se realizó una propuesta de mejora para reducir los tiempos de ejecución de las actividades internas elegidas: el resultado se muestra en la Tabla 3.67.

Tabla 3.67 Propuesta de mejora de actividades internas *Crush & Broach* (Fuente: elaboración propia).

Actividades internas	Descripción	Propuesta para mejora
2. Toma herramienta para montar.	Al iniciar el turno se tienen que montar las herramientas con las que se va a trabajar.	Utilizar un sistema de sujeción para facilitar el montaje, y reducir el tiempo de estas actividades.
3. Monta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.		

3.5.6.4.2 Analizar y mejorar actividades externas

Para realizar el análisis y mejora de las actividades externas, se solicitó el apoyo del personal operativo del proceso, ya que con base en su experiencia fue más fácil identificar aquellas actividades que podían ser mejoradas. Las actividades que se realizaron fueron las descritas en la Sección 3.5.5.4.2, el resultado de esto se muestra en Tabla 3.68.

3.5.6.4.3 Capacitar al personal operativo con el nuevo proceso de preparación de máquinas *Crush & Broach*

Para facilitar la capacitación del personal operativo con el nuevo proceso de preparación de máquinas *Crush & Broach* se realizaron las siguientes actividades:

1. Realizar diagrama de flujo de trabajo del proceso de preparación nuevo.
2. Realizar lista final de verificación para actividades de preparación interna y externa.
3. Realizar lista final de verificación para equipo de protección personal, herramientas y equipo utilizado.

Tabla 3.68 Propuesta de mejora para actividades externas *Crush & Broach* (Fuente: elaboración propia).

Actividades externas	Descripción	Propuesta para mejora
6. Va almacén de mantenimiento.	El personal operativo tiene que acudir hasta el almacén de mantenimiento por brocas, piedras abrasivas y una varilla brochadora, ocasionado principalmente por la mala gestión de responsabilidades.	Se propuso delegar un responsable de mantenimiento para abastecer las máquinas con brocas, piedras abrasivas y varillas brochadoras ya que el personal operativo menciona que son tareas que le corresponden a este departamento.
7. Toma brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.		
8. Regresa a estación de trabajo.		

3.5.6.4.3.1 Realizar diagrama de flujo de trabajo del proceso de preparación nuevo

Para realizar el diagrama de flujo de trabajo del proceso de preparación nuevo, para las máquinas *Crush & Broach*, se tomó el orden de las actividades de acuerdo con la clasificación actualizada, realizada en la Sección 3.5.6.3; el resultado se muestra en la Tabla 3.69.

Tabla 3.69 Diagrama proceso nuevo *Crush & Broach* (Fuente: elaboración propia).

Diagrama de flujo de trabajo							
Actividad: proceso de preparación de máquinas <i>Crush & Broach</i> .							
Resumen			Datos				
	Tipo de actividad	Número	Página: 1 de 1.				
●	Operación	28	Enfoque: actual.				
■	Inspección	7	Empresa: NOVA.				
➡	Transporte	8	Proceso: <i>Crush & Broach</i> .				
■	Demora	0	Tipo de diagrama: diagrama de flujo de trabajo.				
▼	Almacenamiento	0	Elaboró: Ing. Martín Flores Zuñiga				
Tiempo total = 28.76 min.		43	Fecha: 12/11/2024				
No.	Actividad	Símbolo					Tiempo (minutos)
		Oper.	Inspe.	Tasn.	Demor.	Almac.	
1	Limpia la base de las máquinas.	●	■	➡	■	▼	Se realizan mientras la máquina trabaja
2	Toma herramienta para desmontar.	●	■	➡	■	▼	
3	Desmonta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	●	■	➡	■	▼	
4	Coloca lo desmontado en área común.	●	■	➡	■	▼	
5	Coloca la herramienta utilizada en un carrito.	●	■	➡	■	▼	
6	Va a almacén de mantenimiento.	●	■	➡	■	▼	
7	Toma brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	●	■	➡	■	▼	
8	Regresa a estación de trabajo.	●	■	➡	■	▼	0.33
9	Enciende bomba y abre válvulas de refrigerante.	●	■	➡	■	▼	
10	Toma herramienta para montar brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	●	■	➡	■	▼	0.40
11	Monta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	●	■	➡	■	▼	2.28
12	Enciende en tablero máquinas (taladros, crush grinder y máquina brochadora).	●	■	➡	■	▼	0.37
13	Toma la herramienta para realizar ajustes.	●	■	➡	■	▼	0.45
14	Ajusta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	●	■	➡	■	▼	1.97
15	Realiza pruebas en vacío.	●	■	➡	■	▼	1.50
16	Verifica el funcionamiento de brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	●	■	➡	■	▼	0.90
17	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.	●	■	➡	■	▼	0.87
18	Toma una caja de material del depósito de la línea.	●	■	➡	■	▼	0.58
19	Regresa a la estación de trabajo.	●	■	➡	■	▼	0.92
20	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.	●	■	➡	■	▼	0.25
21	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.	●	■	➡	■	▼	0.47
22	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.	●	■	➡	■	▼	0.20
23	Acciona la primera máquina.	●	■	➡	■	▼	0.30
24	Verifica las características del corte angular para resorte.	●	■	➡	■	▼	0.50
25	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.	●	■	➡	■	▼	1.85
26	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.	●	■	➡	■	▼	0.50
27	Acciona la segunda máquina.	●	■	➡	■	▼	0.30
28	Verifica las características del doble barrenado para pines.	●	■	➡	■	▼	0.50
29	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.	●	■	➡	■	▼	2.00
30	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.	●	■	➡	■	▼	0.50
31	Acciona la tercera máquina.	●	■	➡	■	▼	0.30
32	Verifica las características del avellando para pines.	●	■	➡	■	▼	0.50
33	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.	●	■	➡	■	▼	1.78
34	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.	●	■	➡	■	▼	0.50
35	Acciona la cuarta máquina.	●	■	➡	■	▼	0.30
36	Verifica las características del angulo de la piedra abrasiva.	●	■	➡	■	▼	0.50
37	Ajusta la posición de la piedra abrasiva de la cuarta máquina.	●	■	➡	■	▼	1.92
38	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.	●	■	➡	■	▼	0.50
39	Acciona la quinta máquina.	●	■	➡	■	▼	0.30
40	Verifica las características del ovalo con varilla brochadora para tornillo.	●	■	➡	■	▼	0.50
41	Ajusta subida de varilla brochadora de la quinta máquina.	●	■	➡	■	▼	1.22
42	Realiza corrida de prueba.	●	■	➡	■	▼	1.50
43	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.	●	■	➡	■	▼	1.00
Total =		28	7	8	0	0	28.76

3.5.6.4.3.2 Realizar lista final de verificación para actividades de preparación internas y externa

Para realizar la lista final de verificación para las actividades de preparación internas y externas, se consideró la clasificación actualizada, realizada en la Sección 3.5.6.3; el resultado se muestra en la Tabla 3.70.

Tabla 3.70 Lista final de verificación de actividades Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).

Lista de verificación de actividades (Proceso: <i>Crush & Broach</i>)						
Realizó:				Turno:		
Operador:				Fecha:		
No.	Actividades internas	¿Se realizó la actividad?		No.	Actividades externas (turno anterior)	¿Se realizó la actividad?
1	Enciende bomba y abre válvulas de refrigerante.	Sí	No	1	Limpia la base de las máquinas.	Sí No
2	Toma herramienta para montar brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Sí	No	2	Toma herramienta para desmontar.	Sí No
3	Monta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Sí	No	3	Desmonta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Sí No
4	Enciende en tablero máquinas (taladros, crush grinder y máquina brochadora).	Sí	No	4	Coloca lo desmontado en área común.	Sí No
5	Toma la herramienta para realizar ajustes.	Sí	No	5	Coloca la herramienta utilizada en un carrito.	Sí No
6	Ajusta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Sí	No	6	Va a almacén de mantenimiento.	Sí No
7	Realiza pruebas en vacío.	Sí	No	7	Toma brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Sí No
8	Verifica el funcionamiento de brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Sí	No	8	Regresa a estación de trabajo.	Sí No
9	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.	Sí	No			
10	Toma una caja de material del depósito de la línea.	Sí	No			
11	Regresa a la estación de trabajo.	Sí	No			
12	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.	Sí	No			
13	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.	Sí	No			
14	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.	Sí	No			
15	Acciona la primera máquina.	Sí	No			
16	Verifica las características del corte angular para resorte.	Sí	No			
17	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.	Sí	No			
18	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.	Sí	No			
19	Acciona la segunda máquina.	Sí	No			
20	Verifica las características del doble barrenado para pines.	Sí	No			
21	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.	Sí	No			
22	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.	Sí	No			
23	Acciona la tercera máquina.	Sí	No			
24	Verifica las características del avellando para pines.	Sí	No			
25	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.	Sí	No			
26	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.	Sí	No			
27	Acciona la cuarta máquina.	Sí	No			
28	Verifica las características del angulo de la piedra abrasiva.	Sí	No			
29	Ajusta la posición de la piedra abrasiva de la cuarta máquina.	Sí	No			
30	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.	Sí	No			
31	Acciona la quinta máquina.	Sí	No			
32	Verifica las características del ovalo con varilla brochadora para tornillo.	Sí	No			
33	Ajusta subida de varilla brochadora de la quinta máquina.	Sí	No			
34	Realiza corrida de prueba.	Sí	No			
35	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.	Sí	No			

3.5.6.4.3.3 Realizar lista final de verificación para equipo de protección personal, herramientas y equipo utilizado

Debido a que no se realizó ningún cambio en el equipo de protección personal, herramientas y equipo utilizado, la lista de verificación realizada en la Sección 3.5.6.2.3 debe seguir utilizándose. Para facilidad de lectura, esta lista se muestra en la Tabla 3.71.

3.6 Medir indicadores después de la mejora

Una vez implementadas las herramientas de trabajo estandarizado, las 5S y *SMED*, para mejorar los indicadores (Sección 3.5), se realizó nuevamente la medición de éstos, con el objetivo de observar el grado de mejora obtenido en cada indicador, mediante las siguientes actividades:

1. Medir tiempo de preparación de máquinas *Off-line* después de la mejora.
2. Medir tiempo de preparación de máquinas *Crush & Broach* después de la mejora.
3. Medir desperdicio de material después de la mejora.

Tabla 3.71 Lista final de verificación de EPP, herramientas y equipo utilizado (Fuente: elaboración propia).

Lista de verificación de EPP, herramientas y equipo utilizado		
Realizó:	Turno:	
Operador:	Fecha:	
Equipo de protección personal	¿Se cuenta con el equipo de protección personal?	
Mascarilla APM 10.	Sí	No
Guantes de nitrilo azules.	Sí	No
Gafas de seguridad.	Sí	No
Mandil.	Sí	No
Botas de casquillo industriales.	Sí	No
Herramienta	¿Se cuenta con la herramienta necesaria?	
Cortador vertical de 1/8.	Sí	No
Broca 3.1 mm.	Sí	No
Cortador vertical 3/16.	Sí	No
Avellanador 1/4" 45°.	Sí	No
Varilla brochadora tipo "A"	Sí	No
Rueda Crush punta 035	Sí	No
Rueda Crush interior 028	Sí	No
Equipo	¿Se cuenta con el equipo necesario?	
Galgas de inspección.	Sí	No
Dispositivo Go no Go.	Sí	No
Plano de tijera en acetato.	Sí	No
Desarmador semiautomático.	Sí	No

3.6.1 Medir tiempo de preparación de máquinas *Off-line* después de la mejora

Una vez realizada la implementación de *SMED*, para la reducción de los tiempos de preparación de las máquinas *Off-line*, se realizó la medición de este indicador. Para realizar dicha medición se siguió el mismo procedimiento descrito en la Sección 3.3.3. El resultado de esta actividad se muestra en la Tabla 3.72 y Tabla 3.73.

Tabla 3.72 Tiempo actividades internas *Off-line* (Fuente: elaboración propia).

No.	Actividades internas	Ciclos (minutos)						Promedio min.
		1	2	3	4	5	6	
1	Coloca el aceite en el depósito de las máquinas.	1.4	1.6	1.5	1.5	1.4	1.6	1.50
2	Toma herramienta para montar brocas y cortadores.	0.5	0.4	0.6	0.5	0.5	0.4	0.48
3	Monta brocas y coradores en las máquinas.	2.5	2.8	1.7	2.8	1.7	2.2	2.28
4	Enciende en tablero cabezales, fresadoras, avellanador y bomba de agua.	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.38
5	Toma la herramienta para realizar ajustes.	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5	0.50
6	Ajusta brocas y cortadores	1.8	2.3	1.8	2.2	1.8	2.2	2.02
7	Realiza pruebas en vacío de brocas y cortadores.	1.4	1.6	1.5	1.5	1.4	1.6	1.50
8	Verifica el giro de brocas y cortadores.	0.8	0.9	1	0.8	1	0.9	0.90
9	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8	0.87
10	Toma una caja de material del depósito de la línea.	0.6	0.6	0.5	0.5	0.7	0.6	0.58
11	Regresa a la estación de trabajo.	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	1.1	0.92
12	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.	0.2	0.2	0.3	0.25	0.25	0.3	0.25
13	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.50
14	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.	0.19	0.2	0.2	0.21	0.2	0.2	0.20
15	Acciona la primera máquina.	0.29	0.3	0.3	0.31	0.21	0.3	0.29
16	Verifica las características del barrenado para tornillo central.	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6	0.50
17	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.	1.6	2.5	1.4	1.4	2.6	2.5	2.00
18	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.	0.4	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.50
19	Acciona la segunda máquina.	0.31	0.31	0.3	0.29	0.3	0.3	0.30
20	Verifica las características del barrenado para tornillo central.	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.50
21	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.	2.8	1.9	2.8	1.7	1.8	2.8	2.30
22	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.50
23	Acciona la tercera máquina.	0.31	0.3	0.29	0.3	0.3	0.31	0.30
24	Verifica las características del desvate para resorte.	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.50
25	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.	2.5	1.3	1.4	1.5	2.5	2.5	1.95
26	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.50
27	Acciona la cuarta máquina.	0.29	0.3	0.3	0.31	0.31	0.3	0.30
28	Verifica las características del barrenado para seguro.	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.50
29	Ajusta caída de la herramienta de corte de la cuarta máquina.	1.7	2.5	2.4	1.7	2.5	2.6	2.23
30	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.50
31	Acciona la quinta máquina.	0.3	0.3	0.31	0.31	0.3	0.29	0.30
32	Verifica las características del corte angular para resorte.	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.50
33	Ajusta caída de la herramienta de corte de la quinta máquina.	2.5	2.3	2.4	2.7	2.4	1.7	2.33
34	Lleva la forja a la base de la sexta máquina.	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.50
35	Acciona la sexta máquina.	0.3	0.29	0.3	0.3	0.31	0.31	0.30
36	Verifica las características de la cuerda del agujero para el seguro.	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.50
37	Ajusta caída de la herramienta de corte de la sexta máquina.	1	2.5	1.5	2.1	1.4	1.6	1.68
38	Realiza corrida de prueba.	1.5	1.5	1.4	1.6	1.4	1.6	1.50
39	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.	1.1	1.1	0.8	1.1	1	0.9	1.00
Tiempo total min. =		35.39	38.5	36.9	38.28	39.98	43.01	35.18
Tiempo promedio por tuno =		35.18 min.						
Tiempo aproximado mensual =		28 x 35.18 min = 16.41 hrs.						

Tabla 3.73 Tiempo actividades externas Off-line (Fuente: elaboración propia).

No.	Actividades externas	Ciclos (minutos)						Promedio min.
		1	2	3	4	5	6	
1	Limpia la base de las máquinas.	1	0.9	1.1	1.1	1	1.2	1.05
2	Toma herramienta para desmontar brocas y cortadores.	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.25
3	Desmonta las brocas y los cortadores.	3.7	3.5	3.6	3.5	3.7	3.6	3.60
4	Coloca las brocas y los cortadores desmontados en área común.	0.25	0.3	0.2	0.2	0.3	0.25	0.25
5	Coloca la herramienta utilizada en un carrito de herramientas.	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6	0.6	0.52
6	Va a almacén de materia prima.	3.4	3.6	3.5	3.5	3.4	3.6	3.50
7	Solicita material de acuerdo a la tijera a fabricar.	0.4	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.48
8	Regresa a estación de trabajo.	3.5	3.6	3.4	3.5	3.5	3.4	3.48
9	Va a almacén de mantenimiento.	4.1	3.9	4	3.9	4.1	3.8	3.97
10	Toma brocas, cortadores y aceite para las máquinas.	2.4	2.6	2.5	2.5	2.4	2.6	2.50
11	Regresa a estación de trabajo.	3.9	3.9	3.8	3.8	3.8	3.7	3.82
Tiempo total min =		23.35	23.7	23.2	23.2	23.6	23.45	23.42

3.6.2 Medir tiempo de preparación de máquinas *Crush & Broach* después de la mejora

Una vez realizada la implementación de *SMED*, para la reducción de los tiempos de preparación de las máquinas *Crush & Broach*, se realizó la medición de este indicador. Para realizar dicha medición se siguió el mismo procedimiento descrito en la Sección 3.3.4. El resultado de esta actividad se muestra en la Tabla 3.74 y Tabla 3.75.

Tabla 3.74 Tiempo actividades externas *Crush & Broach* (Fuente: elaboración propia).

No.	Actividades externas	Ciclos (minutos)						Promedio min.
		1	2	3	4	5	6	
1	Limpia la base de las máquinas.	1.1	1.1	1.4	1.5	1.1	1.5	1.28
2	Toma herramienta para desmontar.	0.2	0.3	0.25	0.25	0.3	0.2	0.25
3	Desmonta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	3.4	3.5	3.9	3.5	3.3	3.6	3.53
4	Coloca lo desmontado en área común.	0.25	0.3	0.2	0.2	0.3	0.25	0.25
5	Coloca la herramienta utilizada en un carrito.	0.5	0.6	0.4	0.5	0.5	0.5	0.50
6	Va a almacén de mantenimiento.	3.8	3.5	3.3	3.9	3.8	3.2	3.58
7	Toma brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	2.1	2.6	2.5	2.3	2.4	2.1	2.33
8	Regresa a estación de trabajo.	3.2	3.9	3.8	3.1	3.8	3.2	3.50
Tiempo total min =		14.55	15.8	15.75	15.25	15.5	14.55	15.23

Tabla 3.75 Tiempo actividades internas Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).

No.	Actividades internas	Ciclos (minutos)						Promedio min.
		1	2	3	4	5	6	
1	Enciende bomba y abre válvulas de refrigerante.	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.33
2	Toma herramienta para montar brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	0.3	0.4	0.3	0.5	0.5	0.4	0.40
3	Monta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	2.5	2.8	1.7	2.8	1.7	2.2	2.28
4	Enciende en tablero máquinas (taladros, crush grinder y máquina brochadora).	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.37
5	Toma la herramienta para realizar ajustes.	0.5	0.3	0.5	0.5	0.4	0.5	0.45
6	Ajusta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	2.1	2.5	1.8	1.5	1.8	2.1	1.97
7	Realiza pruebas en vacío.	1.4	1.6	1.5	1.5	1.4	1.6	1.50
8	Verifica el funcionamiento de brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	0.8	0.9	1	0.8	1	0.9	0.90
9	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8	0.87
10	Toma una caja de material del depósito de la línea.	0.6	0.6	0.5	0.5	0.7	0.6	0.58
11	Regresa a la estación de trabajo.	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	1.1	0.92
12	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.	0.2	0.2	0.3	0.25	0.25	0.3	0.25
13	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.47
14	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.	0.19	0.2	0.2	0.21	0.2	0.2	0.20
15	Acciona la primera máquina.	0.29	0.3	0.3	0.31	0.31	0.3	0.30
16	Verifica las características del corte angular para resorte.	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6	0.50
17	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.	1.6	1.5	1.5	1.4	2.6	2.5	1.85
18	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.	0.4	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.50
19	Acciona la segunda máquina.	0.31	0.31	0.3	0.29	0.3	0.3	0.30
20	Verifica las características del doble barrenado para pines.	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.50
21	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.	1.8	1.9	2	1.7	1.8	2.8	2.00
22	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.50
23	Acciona la tercera máquina.	0.31	0.3	0.29	0.3	0.3	0.31	0.30
24	Verifica las características del avellando para pines.	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.50
25	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.	1.9	1.3	2	1.5	1.9	2.1	1.78
26	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.50
27	Acciona la cuarta máquina.	0.29	0.3	0.3	0.31	0.31	0.3	0.30
28	Verifica las características del angulo de la piedra abrasiva.	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.50
29	Ajusta la posición de la piedra abrasiva de la cuarta máquina.	1.5	2.5	2	1.5	1.9	2.1	1.92
30	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.50
31	Acciona la quinta máquina.	0.3	0.3	0.31	0.31	0.3	0.29	0.30
32	Verifica las características del ovalo con varilla brochadora para tornillo.	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.50
33	Ajusta subida de varilla brochadora de la quinta máquina.	1.1	1.3	1.1	1.1	1.4	1.3	1.22
34	Realiza corrida de prueba.	1.5	1.5	1.4	1.6	1.4	1.6	1.50
35	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.	1.1	1.1	0.8	1.1	1	0.9	1.00
Tiempo total min. =		28.99	31.31	30.7	31.08	34.07	37.4	28.76
Tiempo promedio por tuno = 28.76 min.								
Tiempo aproximado mensual = 28 x 28.76 min = 13.42 hrs.								

3.6.3 Medir desperdicio de material después de la mejora

Una vez realizada la aplicación de trabajo estandarizado (Sección 3.5.3) y la aplicación de las 5S (Sección 3.5.4), para la reducción del desperdicio de material en la línea LP 2, se realizó la medición de este indicador nuevamente.

Para realizar dicha medición se siguió el procedimiento descrito en la Sección 3.3.5. El resultado de esta actividad se muestra en la Tabla 3.76.

Tabla 3.76 Desperdicio de material después de la mejora (Fuente: elaboración propia).

Proceso con cajonera	Desperdicio por día (forjas) después de la mejora											
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12
Off-line # 1	7	8	8	8	9	8	4	8	7	8	7	9
Off-line # 2	9	9	8	3	9	8	12	8	8	9	11	10
Off-line # 3	10	8	7	7	3	14	6	3	7	5	8	8
Crush & Broach	8	9	6	12	9	9	5	9	3	12	11	12
Flat grind	8	9	9	8	9	17	7	7	11	12	11	8
Bevel & Sharpen #1	7	10	6	13	11	8	11	12	12	8	12	7
Bevel & Sharpen #2	7	5	7	10	9	8	10	10	6	6	5	5
Promedio =	8	8	7	9	8	10	8	8	8	9	9	8
Desperdicio promedio por día = 8 forjas												
Desperdicio aproximado por mes = $28 \times 8 =$ 224 forjas												

3.7 Validar estadísticamente las mejoras

Una vez realizada la medición de los indicadores después de las mejoras (Sección 3.6), se realizó la validación estadística de éstos, con el objetivo de comparar los indicadores antes y después de la mejora, mediante las siguientes actividades:

1. Validar estadísticamente la mejora del tiempo de preparación de máquinas *Off-line* posterior a la aplicación de *SMED*.
2. Validar estadísticamente la mejora del tiempo de preparación de máquinas *Crush & Broach* posterior a la aplicación de *SMED*.
3. Validar estadísticamente la mejora de desperdicio de material posterior a la aplicación de las 5S y trabajo estandarizado.

3.7.1 Validar estadísticamente la mejora del tiempo de preparación de máquinas *Off-line* posterior a la aplicación de *SMED*

Para realizar la validación estadística del proceso nuevo de preparación de máquinas *Off-line*, posterior de la aplicación de *SMED* (Sección 3.5.5), y validar que se reduce el tiempo de preparación en comparación con el tiempo de preparación actual (Sección 3.3.3), se realizó una prueba de hipótesis con comparación de medias y varianzas desconocidas. Para realizar dicha prueba se realizó el siguiente procedimiento:

1. Se realizó el concentrado de los tiempos promedio del proceso de preparación actual (Tabla 3.9) y el proceso de preparación nuevo (Tabla 3.72), considerando los seis ciclos óptimos tomados en cada caso, el resultado se muestra en la Tabla 3.77.
2. Se calculó el tiempo promedio del proceso de preparación actual y nuevo, a través de la Ecuación 3.10, el resultado del tiempo promedio obtenido después del cálculo realizado se muestra en la Ecuación 3.11, para el proceso actual, y en la Ecuación 3.12, para el proceso nuevo.

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{n} \dots\dots\dots (3.10)$$

Donde:

$\bar{x}$ = Tiempo promedio total.

xi = Tiempo promedio de cada ciclo.

n = Número total de ciclos.

$$\bar{x} (actual) = \frac{(58.14+61.1+\dots+58.88+60.76)}{6} = 59.52 \text{ min.} \dots\dots\dots (3.11)$$

$$\bar{x} (nuevo) = \frac{(35.39+38.5+\dots+38.28+39.98)}{6} = 38.67 \text{ min.} \dots\dots\dots (3.12)$$

3. Se calculó la desviación estándar (S) del tiempo promedio total del proceso de preparación actual y nuevo de las máquinas *Off-line* mediante la Ecuación 3.13. El resultado de la desviación estándar del proceso actual se muestra en la Ecuación 3.14 mientras que para el proceso nuevo el resultado se muestra en la Ecuación 3.15.

Tabla 3.77 Tiempos de preparación de máquinas *Off-line* proceso actual y nuevo
(Fuente: elaboración propia).

Proceso de preparación	Ciclos óptimos					
	1	2	3	4	5	6
Actual	58.14	61.1	59.35	58.93	58.88	60.76
Nuevo	35.39	38.5	36.9	38.28	39.98	43.01

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (xi - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (3.13)$$

Donde:

S = Desviación estándar.

xi = Tiempo promedio de cada ciclo.

$\bar{x}$ = Tiempo promedio total.

n = Número total de ciclos.

$$S_1 (actual) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (xi - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{6.725}{5}} = 1.160 \dots\dots\dots (3.14)$$

$$S_2 (nuevo) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (xi - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{34.624}{5}} = 2.631 \dots\dots\dots (3.15)$$

4. Se realizó el cálculo de la desviación estándar común (Sp), a través de la Ecuación 3.16. Dicho cálculo se realizó utilizando las desviaciones estándar calculas en el paso anterior (Ecuación 3.14 y Ecuación 3.15). El resultado de la desviación estándar común calculada se muestra en la Ecuación 3.17.

$$Sp = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}} \dots\dots\dots (3.16)$$

Donde:

Sp = Desviación estándar común.

S_1 = Desviación estándar del proceso actual.

S_2 = Desviación estándar del proceso nuevo.

n_1 = Número total de ciclos del proceso actual.

n_2 = Número total de ciclos del proceso nuevo.

$$Sp = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}} = \sqrt{\frac{(6-1)(1.160)^2 + (6-1)(2.631)^2}{6+6-2}} = 2.033 \dots (3.17)$$

5. Se realizó la formulación de la hipótesis nula (H_0) y de la hipótesis alternativa (H_1), con el objetivo de determinar si la media del proceso actual de preparación (μ_1) es mayor que la del proceso nuevo de preparación (μ_2) de máquinas *Off-line*. El resultado se plasmó en las siguientes hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 > \mu_2$$

6. Se definió un nivel de significancia del 5% con un nivel de confianza del 95%, lo que implicó que la probabilidad de cometer un error tipo I (rechazar una hipótesis nula cuando en realidad es verdadera) fuera de 5%, lo cual es reflejado por un valor de α igual a 0.05.
7. Se determinó la región de rechazo para la hipótesis nula (H_0), esta región corresponde al límite dentro del cual se acepta o se rechaza la hipótesis nula, dependiendo si el estadístico de prueba calculado cae dentro de esta región o no (Figura 3.35).
8. Se realizó el cálculo del valor crítico del estadístico de prueba mediante la Ecuación 3.18, para realizar dicho cálculo se utilizó la tabla t de *student* (Tabla 3.78), usando un nivel de confianza del 95% y 10 de grados de libertad, el resultado se muestra en la Ecuación 3.19.

$$t_{\alpha, n_1 + n_2 - 2} \dots \dots \dots (3.18)$$

$$t_{0.05, (6+6-2)} = t_{0.05, 10} = 1.812 \dots \dots \dots (3.19)$$

9. Se realizó el cálculo del estadístico de prueba (t_0), utilizando la Ecuación 3.20. El resultado del cálculo realizado se muestra en la Ecuación 3.21.

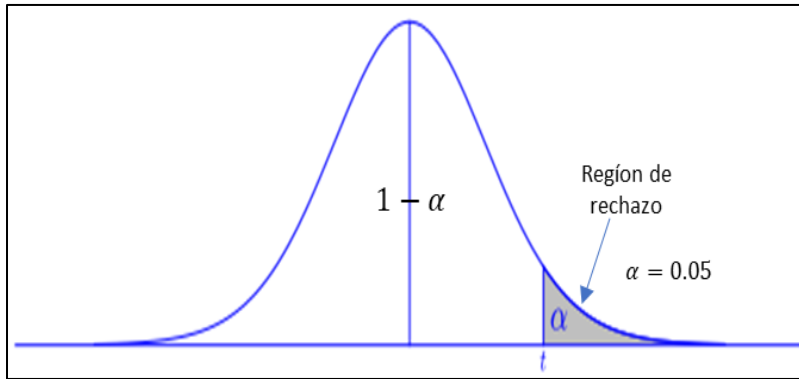


Figura 3.35 Región de rechazo para H_0 (Fuente: Universidad Autónoma de Madrid, sin fecha).

Tabla 3.78 Fragmento tabla t de student (Fuente: Universidad Autónoma de Madrid, sin fecha).

n	α							
	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05	0.025	0.01	0.008
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.71	31.82	39.78
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	7.811
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	4.930
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.010
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	3.573
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.320
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.157
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.043
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	2.958
10	0.699	0.878	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	2.894
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	2.843
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	2.801

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{Sp \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \dots\dots\dots (3.20)$$

Donde:

$\bar{x}_1$ = Tiempo promedio del proceso actual.

$\bar{x}_2$ = Tiempo promedio del proceso nuevo.

S_p = Desviación estándar común.

n_1 = Número total de ciclos del proceso actual.

n_2 = Número total de ciclos del proceso nuevo.

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{sp \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = \frac{59.52 - 38.67}{2.033 \sqrt{\frac{1}{6} + \frac{1}{6}}} = 17.759 \dots \dots \dots (3.21)$$

10. Se comprobó si se aceptaba o rechazaba la hipótesis nula mediante la comparación (Ecuación 3.22) de los valores calculados para t_0 (Ecuación 3.21) y para $t_{0.05,10}$ (Ecuación 3.19). El resultado se muestra en la Ecuación 3.23.

$$t_0 > t_{0.05,10} \dots \dots \dots (3.22)$$

$$17.759 > 1.812 \dots \dots \dots (3.23)$$

11. Se decidió, con base en los resultados de la Ecuación 3.21, que hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula H_0 , y asumir que la hipótesis alternativa H_1 es verdadera, en otras palabras, el tiempo promedio del proceso actual de preparación es más grande que el tiempo promedio del proceso nuevo de preparación de máquinas *Off-line*.

12. Se realizó la comparación de los tiempos de los procesos de preparación de las máquinas *Off-line* (actual y nuevo) por turno y por mes, con el objetivo de observar el grado de mejora obtenido; el resultado se muestra en la Tabla 3.79 y en la Figura 3.36 para la comparación por turno y en la Figura 3.37 para la comparación mensual.

Tabla 3.79 Tabla resumen mejora del tiempo de preparación *Off-line* (Fuente: elaboración propia).

Técnica aplicada (Sección 3.5.5)	Contribución	Tiempo del proceso actual (Tabla 3.9)	Tiempo del proceso nuevo (Tabla 3.72)	Tiempo ahorrado con la mejora	Porcentaje de reducción de tiempo.
SMED	Mejora del tiempo de preparación de máquinas <i>Off-line</i> .	59.53 min/turno 27.78 hrs/mes	35.18 min/turno 16.41 hrs/mes	24.35 min/turno 11.63 hrs/mes	40.90%

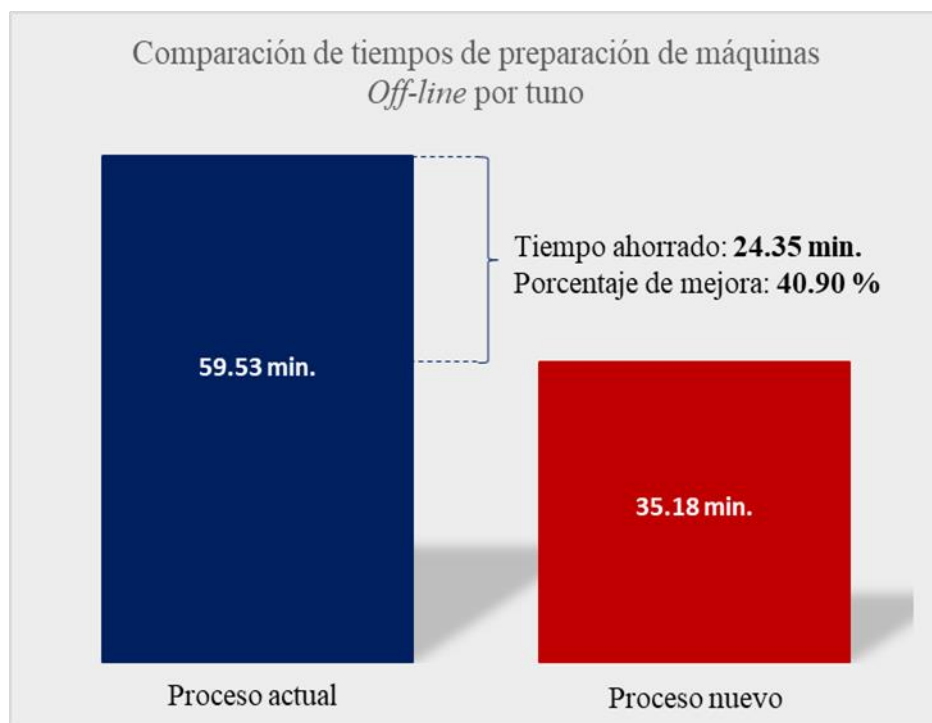


Figura 3.36 Comparación del tiempo de preparación antes y después de la mejora *Off-line* por turno (Fuente: elaboración propia).

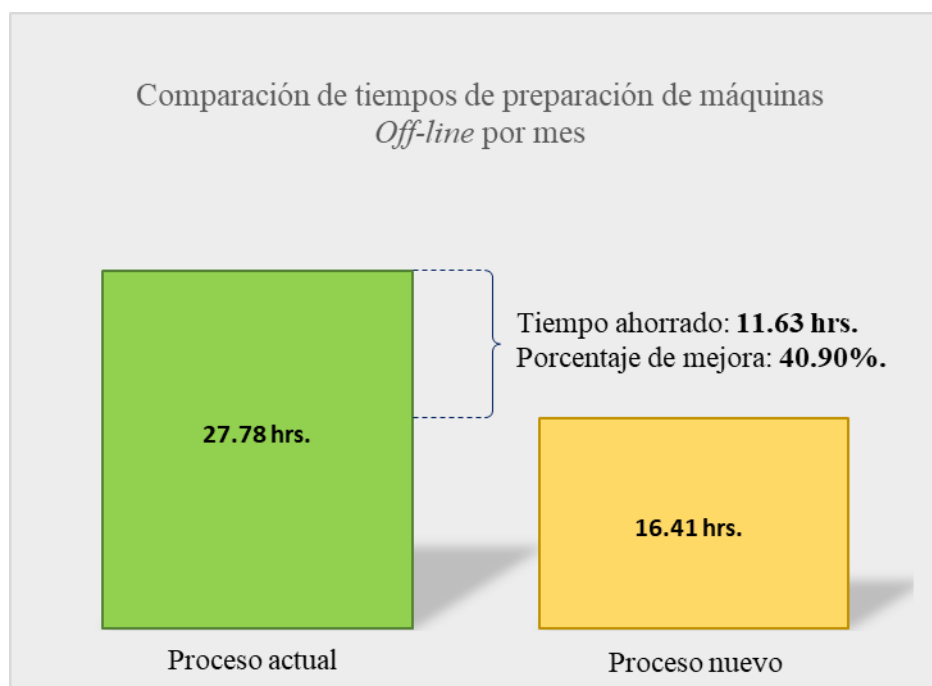


Figura 3.37 Comparación del tiempo de preparación antes y después de la mejora *Off-line* por mes (Fuente: elaboración propia).

3.7.2 Validar estadísticamente la mejora del tiempo de preparación de máquinas *Crush & Broach* posterior a la aplicación de *SMED*

Para realizar la validación estadística del proceso nuevo de preparación de máquinas *Crush & Broach*, posterior de la aplicación de *SMED* (Sección 3.5.6), y validar que se reduce el tiempo de preparación, en comparación con el tiempo de preparación actual (Sección 3.3.4), se realizó una prueba de hipótesis con comparación de medias y varianzas desconocidas. Para realizar dicha prueba se realizó el siguiente procedimiento:

1. Se realizó el concentrado de los tiempos promedio del proceso de preparación actual (Tabla 3.12.) y el proceso de preparación nuevo (Tabla 3.75), considerando los seis ciclos óptimos tomados en cada caso, el resultado se muestra en la Tabla 3.80.
2. Se calculó el tiempo promedio del proceso de preparación actual y nuevo, a través de la Ecuación 3.24, el resultado del tiempo promedio obtenido después del cálculo realizado se muestra en la Ecuación 3.25, para el proceso actual, y en la Ecuación 3.26, para el proceso nuevo.

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{n} \dots\dots\dots (3.24)$$

Donde:

$\bar{x}$ = Tiempo promedio total.

xi = Tiempo promedio de cada ciclo.

n = Número total de ciclos.

Tabla 3.80 Tiempos de preparación de máquinas *Crush & Broach* actual y nuevo
(Fuente: elaboración propia).

Proceso de preparación	Ciclos óptimos					
	1	2	3	4	5	6
Actual	42.54	45.11	43.45	42.33	44.57	45.95
Nuevo	28.99	31.31	30.7	31.08	34.07	37.4

$$\bar{x} (actual) = \frac{(42.54+45.11+\dots+44.57+45.95)}{6} = 43.99 \text{ min.} \dots\dots\dots (3.25)$$

$$\bar{x} (nuevo) = \frac{(28.99+31.31+\dots+34.07+37.4)}{6} = 32.25 \text{ min.} \dots\dots\dots (3.26)$$

3. Se calculó la desviación estándar (S) del tiempo promedio total del proceso de preparación actual y nuevo de las máquinas *Crush & Broach* mediante la Ecuación 3.27. El resultado de la desviación estándar del proceso actual se muestra en la Ecuación 3.28, mientras que para el proceso nuevo el resultado se muestra en la Ecuación 3.29.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (3.27)$$

Donde:

S = Desviación estándar.

xi = Tiempo promedio de cada ciclo.

$\bar{x}$ = Tiempo promedio total.

n = Número total de ciclos.

$$S_1 (actual) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{10.582}{5}} = 1.455 \dots\dots\dots (3.28)$$

$$S_2 (nuevo) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{45.117}{5}} = 3.004 \dots\dots\dots (3.29)$$

4. Se realizó el cálculo de la desviación estándar común (Sp), a través de la Ecuación 3.30. Dicho cálculo se realizó utilizando las desviaciones estándar calculadas en el paso anterior (Ecuación 3.28 y Ecuación 3.29.). El resultado de la desviación estándar común calculada se muestra en la Ecuación 3.31.

$$Sp = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}} \dots\dots\dots (3.30)$$

Donde:

S_p = Desviación estándar común.

S_1 = Desviación estándar del proceso actual.

S_2 = Desviación estándar del proceso nuevo.

n_1 = Número total de ciclos del proceso actual.

n_2 = Número total de ciclos del proceso nuevo.

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}} = \sqrt{\frac{(6-1)(1.445)^2 + (6-1)(3.004)^2}{6+6-2}} = 2.360 \quad \dots (3.31)$$

5. Se realizó la formulación de la hipótesis nula (H_0) y de la hipótesis alternativa (H_1), con el objetivo de determinar si la media del proceso actual de preparación (μ_1) es mayor que la del proceso nuevo de preparación (μ_2) de máquinas *Crush & Broach*. El resultado se plasmó en las siguientes hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 > \mu_2$$

6. Se definió un nivel de significancia del 5% con un nivel de confianza del 95%, lo que implicó que la probabilidad de cometer un error tipo I (rechazar una hipótesis nula cuando en realidad es verdadera) fuera de 5%, lo cual es reflejado por un valor de α igual a 0.05.
7. Se determinó la región de rechazo para la hipótesis nula (H_0), esta región corresponde al límite dentro del cual se acepta o se rechaza la hipótesis nula, dependiendo si el estadístico de prueba calculado cae dentro de esta región o no (Figura 3.38).
8. Se realizó el cálculo del valor crítico del estadístico de prueba mediante la Ecuación 3.32, para realizar dicho cálculo se utilizó la tabla t de *student* (Tabla 3.81), usando un nivel de confianza del 95% y 10 de grados de libertad; el resultado se muestra en la Ecuación 3.33.

9. Se realizó el cálculo del estadístico de prueba (t_0), utilizando la Ecuación 3.34. El resultado del cálculo realizado se muestra en la Ecuación 3.35.

$$t_{\alpha, n_1+n_2-2} \dots\dots\dots (3.32)$$

$$t_{0.05, (6+6-2)} = t_{0.05, 10} = 1.812 \dots\dots\dots (3.33)$$

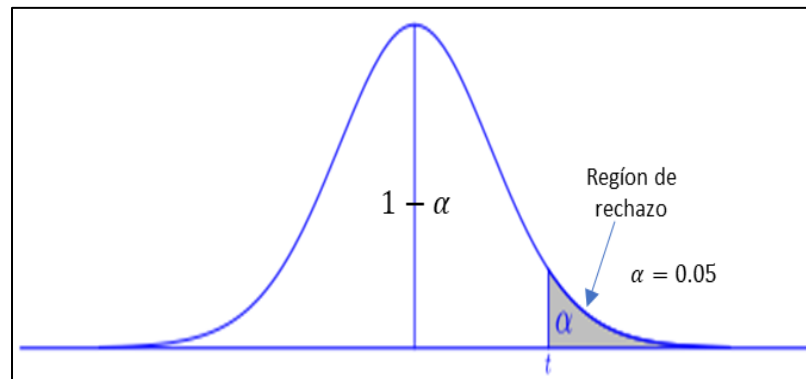


Figura 3.38 Región de rechazo para H_0 (Fuente: Universidad Autónoma de Madrid, sin fecha).

Tabla 3.81 Fragmento tabla t de student (Fuente: Universidad Autónoma de Madrid, sin fecha).

n	α							
	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05	0.025	0.01	0.008
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.71	31.82	39.78
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	7.811
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	4.930
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.010
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	3.573
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.320
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.157
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.043
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	2.958
10	0.699	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	2.894
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	2.843
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	2.801

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{Sp \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \dots\dots\dots (3.34)$$

Donde:

$\bar{x}_1$ = Tiempo promedio del proceso actual.

$\bar{x}_2$ = Tiempo promedio del proceso nuevo.

S_p = Desviación estándar común.

n_1 = Número total de ciclos del proceso actual.

n_2 = Número total de ciclos del proceso nuevo.

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{Sp \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = \frac{43.99 - 32.25}{2.360 \sqrt{\frac{1}{6} + \frac{1}{6}}} = 8.611 \dots\dots\dots (3.35)$$

10. Se comprobó si se aceptaba o rechazaba la hipótesis nula mediante la comparación (Ecuación 3.36) de los valores calculados para t_0 (Ecuación 3.35) y para $t_{0.05,10}$ (Ecuación 3.33). El resultado se muestra en la Ecuación 3.37.

$$t_0 > t_{0.05,10} \dots\dots\dots (3.36)$$

$$17.759 > 1.812 \dots\dots\dots (3.37)$$

11. Se decidió, con base en los resultados de la Ecuación 3.37, que hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula H_0 , y asumir que la hipótesis alternativa H_1 es verdadera, en otras palabras, el tiempo promedio del proceso actual de preparación es más grande que el tiempo promedio del proceso nuevo de preparación de máquinas *Crush & Broach*.
12. Se realizó la comparación de los tiempos de los procesos de preparación de las máquinas *Crush & Broach* (actual y nuevo) por turno y por mes, con el objetivo de observar el grado de mejora obtenido; el resultado se muestra en la Tabla 3.82 y en la Figura 3.39 para la comparación por turno y en la Figura 3.40 para la comparación mensual.

Tabla 3.82 Tabla resumen de mejora del tiempo de preparación *Crush & Broach* (Fuente: elaboración propia).

Técnica aplicada (Sección 3.5.6)	Contribución	Tiempo del proceso actual (Tabla 3.12)	Tiempo del proceso nuevo (Tabla 3.75)	Tiempo ahorrado con la mejora	Porcentaje de reducción de tiempo
SMED	Mejora del tiempo de preparación de máquinas <i>Crush & Broach</i> .	43.99 min/turno 20.52 hrs/mes	28.76 min/turno 13.42 hrs/mes	15.23 min/turno 7.10 hrs/mes	34.62 %

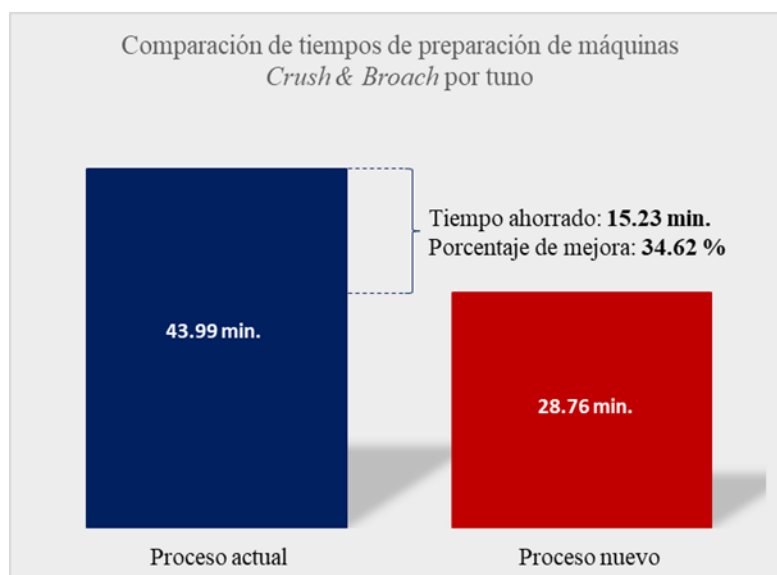


Figura 3.39 Comparación por turno *Crush & Broach* (Fuente: elaboración propia).

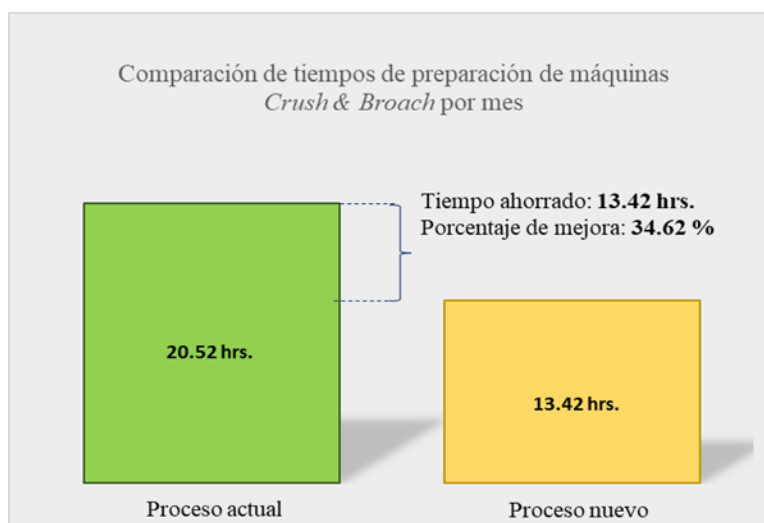


Figura 3.40 Comparación por mes *Crush & Broach* (Fuente: elaboración propia).

3.7.3 Validar estadísticamente la reducción de desperdicio de material posterior a la aplicación de trabajo estandarizado y las 5S

Para validar estadísticamente la reducción de desperdicio de material posterior a la aplicación de trabajo estandarizado (Sección 3.5.3) y de las 5S (Sección 3.5.4) en la línea LP 2, se realizó una prueba de hipótesis con comparación de medias y varianzas desconocidas, a través del siguiente procedimiento:

1. Se realizó el concentrado del desperdicio promedio por día antes y después de la mejora (Tabla 3.14 y Tabla 3.76, respectivamente), considerando los doce días de medición para cada caso, el resultado se muestra en la Tabla 3.83.
2. Se calculó el desperdicio promedio antes y después de la mejora, a través de la Ecuación 3.38, el resultado del desperdicio promedio, obtenido después del cálculo realizado, se muestra en la Ecuación 3.39, para el desperdicio antes de la mejora y en la Ecuación 3.40 para el desperdicio después de la mejora.

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{n} \dots\dots\dots (3.38)$$

Donde:

$\bar{x}$ = Desperdicio promedio total.

xi = Desperdicio promedio de cada día.

n = Número total de días.

$$\bar{x} \text{ (antes de la mejora)} = \frac{(17+16+\dots+16+17)}{12} = 17 \text{ forjas/día.} \dots\dots\dots (3.39)$$

$$\bar{x} \text{ (después de la mejora)} = \frac{(8+8+\dots+9+8)}{12} = 8 \text{ forjas/día.} \dots\dots\dots (3.40)$$

Tabla 3.83 Desperdicio promedio por día (Fuente: elaboración propia).

Desperdicio de material	Desperdicio (forjas) promedio por día											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Antes	17	16	16	17	15	15	18	18	15	17	16	17
Después	8	8	7	9	8	10	8	8	8	9	9	8

3. Se calculó la desviación estándar (S) del desperdicio de material promedio antes y después de la mejora mediante la Ecuación 3.41. El resultado de la desviación estándar del desperdicio promedio antes de la mejora se muestra en la Ecuación 3.42, mientras que para el desperdicio promedio después de la mejora se muestra en la Ecuación 3.43.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (xi - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (3.41)$$

Donde:

S = Desviación estándar.

xi = Desperdicio promedio de cada día.

$\bar{x}$ = Desperdicio promedio total.

n = Número total de días.

$$S_1 \text{ (antes de la mejora)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (xi - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{13}{11}} = 1.094 \dots\dots\dots (3.42)$$

$$S_2 \text{ (después de la mejora)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (xi - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{7}{11}} = 0.783 \dots\dots\dots (3.43)$$

4. Se realizó el cálculo de la desviación estándar común (Sp), a través de la Ecuación 3.44. Dicho cálculo se realizó utilizando las desviaciones estándar calculas en el paso anterior (Ecuación 3.42 y Ecuación 3.43). El resultado de la desviación estándar común calculada se muestra en la Ecuación 3.45.
- 5.

$$Sp = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}} \dots\dots\dots (3.44)$$

Donde:

S_p = Desviación estándar común.

S_1 = Desviación estándar de desperdicio antes de la mejora.

S_2 = Desviación estándar de desperdicio después de la mejora.

n_1 = Número total de días de desperdicio antes de la mejora.

n_2 = Número total de días de desperdicio después de la mejora.

$$Sp = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}} = \sqrt{\frac{(12-1)(1.094)^2 + (12-1)(0.783)^2}{12+12-2}} = 0.951 \quad \dots (3.45)$$

6. Se realizó la formulación de la hipótesis nula (H_0) y de la hipótesis alternativa (H_1), con el objetivo de determinar si la media del desperdicio de material antes de la mejora (μ_1) es mayor que el desperdicio de material después de la mejora (μ_2). El resultado se plasmó en las siguientes hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 > \mu_2$$

7. Se definió un nivel de significancia del 5% con un nivel de confianza del 95%, lo que implicó que la probabilidad de cometer un error tipo I (rechazar una hipótesis nula cuando en realidad es verdadera) fuera de 5%, lo cual es reflejado por un valor de α igual a 0.05.
8. Se determinó la región de rechazo para la hipótesis nula (H_0), esta región corresponde al límite dentro del cual se acepta o se rechaza la hipótesis nula, dependiendo si el estadístico de prueba calculado cae dentro de esta región o no (Figura 3.41).
9. Se realizó el cálculo del valor crítico del estadístico de prueba mediante la Ecuación 3.46, para realizar dicho cálculo se utilizó la tabla t de *student* (Tabla 3.84), usando un nivel de confianza del 95% y 22 de grados de libertad, el resultado se muestra en la Ecuación 3.47.

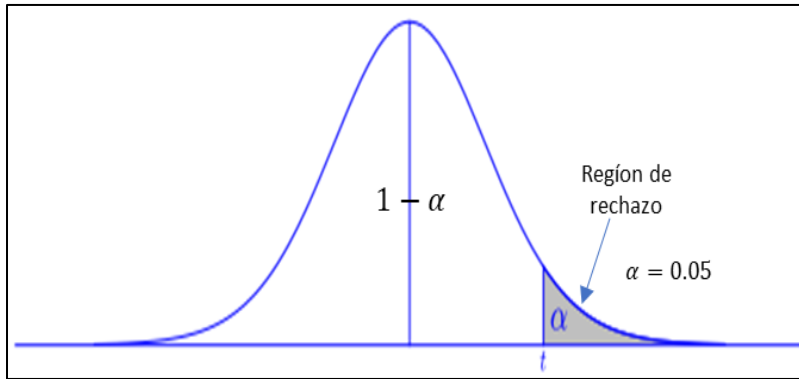


Figura 3.41 Región de rechazo (Fuente: Universidad Autónoma de Madrid, sin fecha).

Tabla 3.84 Fragmento tabla t de student (Fuente: Universidad Autónoma de Madrid, sin fecha).

n	α							
	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05	0.025	0.01	0.008
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.71	31.82	39.78
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	7.811
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	4.930
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.010
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	3.573
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.320
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.157
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.043
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	2.958
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	2.894
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	2.843
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	2.801
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	2.767
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.739
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.714
16	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.693
17	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.675
18	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.658
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.644
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.631
21	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.620
22	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.610
23	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.600

$$t_{\alpha, n_1 + n_2 - 2} \dots \dots \dots (3.46)$$

$$t_{0.05, (12+12-2)} = t_{0.05, 22} = 1.717 \dots \dots \dots (3.47)$$

10. Se realizó el cálculo del estadístico de prueba (t_0), utilizando la Ecuación 3.48. El resultado del cálculo realizado se muestra en la Ecuación 3.49.

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \dots\dots\dots (3.48)$$

Donde:

$\bar{x}_1$ = Desperdicio promedio total antes de la mejora.

$\bar{x}_2$ = Desperdicio promedio total después de la mejora.

S_p = Desviación estándar común.

n_1 = Número total de días del desperdicio antes de la mejora.

n_2 = Número total de días del desperdicio después de la mejora.

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = \frac{17-8}{0.951 \sqrt{\frac{1}{12} + \frac{1}{12}}} = 23.172 \dots\dots\dots (3.49)$$

11. Se comprobó si se aceptaba o rechazaba la hipótesis nula mediante comparación (Ecuación 3.50) de los valores calculados para t_0 (Ecuación 3.49) y para $t_{0.05,10}$ (Ecuación 3.47). El resultado se muestra en la Ecuación 3.51.

$$t_0 > t_{0.05,22} \dots\dots\dots (3.50)$$

$$23.172 > 1.717 \dots\dots\dots (3.51)$$

12. Se decidió, con base en los resultados de la Ecuación 3.51, que hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula H_0 , y asumir que la hipótesis alternativa H_1 es verdadera, en otras palabras, el desperdicio promedio de material antes de la mejora es más grande que el desperdicio promedio de material después de la mejora.
13. Se realizó la comparación del desperdicio de material antes y después de la mejora, con el objetivo de observar el grado de mejora obtenido, el resultado se muestra en la Tabla 3.85 y en la Figura 3.42.

Tabla 3.85 Tabla resumen mejora desperdicio de material (Fuente: elaboración propia).

Técnica aplicada	Contribución	Antes de la mejora (Tabla 3.14)	Después de la mejora (Tabla 3.76)	Reducción de desperdicio	Porcentaje de reducción de desperdicio
Trabajo estandarizado (Sección 3.5.3)	Reducción de desperdicio de material en la línea de producción LP 2.	17 forjas/día	8 forjas/día	9 forjas/día	52.94%
Las 5S (Sección 3.5.4)		476 forjas/mes	224 forjas/mes	252 forjas/mes	

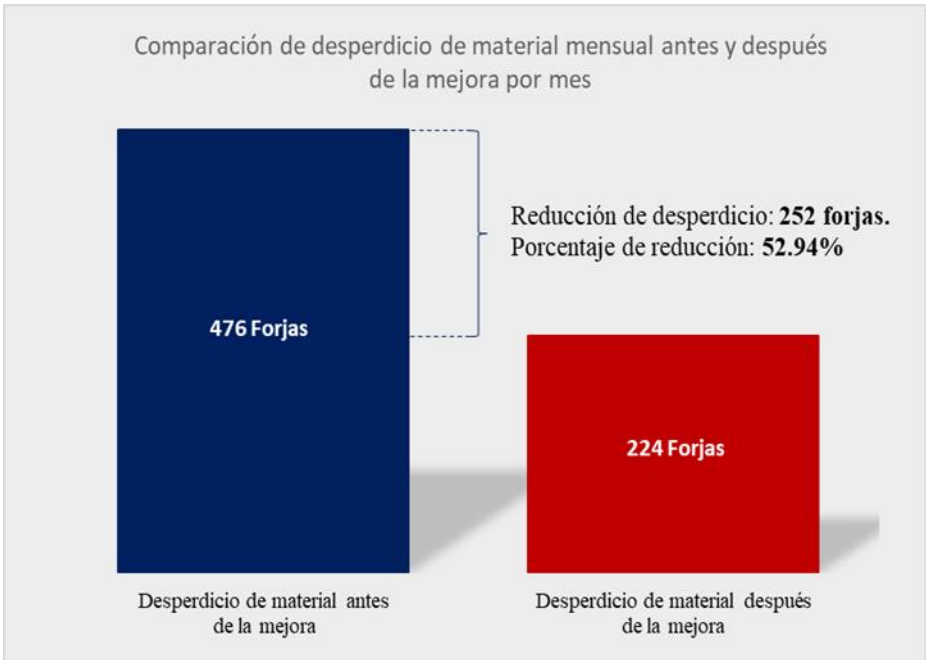


Figura 3.42 Comparación de desperdicio de material antes y después de la mejora (Fuente: elaboración propia).

3.8 Controlar los resultados obtenidos

Para controlar los resultados después de la aplicación de las 5S, trabajo estandarizado y *SMED*, en la línea de producción LP 2, se realizaron las siguientes actividades:

1. Controlar los resultados obtenidos después de la aplicación de las 5S.
2. Controlar los resultados obtenidos después de la aplicación del trabajo estandarizado.
3. Controlar los resultados obtenidos después de la aplicación de *SMED*.

3.8.1 Controlar los resultados obtenidos después de la aplicación de las 5S

Para controlar los resultados después de la aplicación de las 5S, se decidió utilizar el formato realizado previamente en la Sección 3.5.4.7, con el objetivo de que el supervisor realice una auditoria de las 5S de manera semanal y tomé acciones correctivas de ser necesario, por comodidad de lectura este formato se muestra nuevamente en la Tabla 3.86. Así mismo, se darán capacitaciones de manera trimestral sobre 5S y *lean manufacturing*, para fomentar una cultura de mejora continua entre el personal de la línea de producción LP 2.

Tabla 3.86 Formato auditoría de las 5S (Fuente: elaboración propia).

AUDITORÍA 5S							
LÍNEA:	PARTICIPANTES:	FECHA:					
Elementos a evaluar		ÓPTIMO (4) Se ha mejorado el estándar	ALTO (3) Se cumple con el estándar	NORMAL (2) Se cumple con pocos fallos	BAJO (1) NO se cumple con el estándar	NO ACEPTABLE (0) No se cumple nada	Área / Número de máquina
CLASIFICACIÓN	Existen innecesarios en las máquinas y sus alrededores.						
	Existen innecesarios en los pasillos (internos) y alrededores.						
	Existen innecesarios externos al uso de la célula (subcontratistas, mantenimiento, otras líneas).						
	Están todos los necesarios que tienen que estar.						
	Está definida y se conserva la identificación macro (cinta adherida y delimitada las áreas)						
TOTAL CLASIFICACIÓN (A) :							
ORDEN	Las herramientas y/o utillajes están identificados y en su lugar de almacenamiento.						
	Los cajones/gavetas se encuentran bien ordenados y sin innecesarios.						
	Están marcados los territorios para la ubicación de materias primas, material en curso, producto no conforme, muestras, etc.						
	Están identificados los equipos auxiliares (bombas, cuadros eléctricos, válvulas, tuberías).						
	Los documentos, procedimientos y restos de información sobre papel están bien organizados, actualizados y ordenados.						
TOTAL ORDEN (B) :							
LIMPIEZA	Se cuenta con kits de limpieza organizados y de fácil acceso.						
	Las máquinas, ¿se encuentran en buen estado y limpias?						
	Existen residuos (lodos, aceite, papel, cartón, basura en general y plástico) depositados en los contenedores adecuados.						
	Los alrededores (pasillos, entrada, salida del material) están limpios.						
	Existen fugas/charcos (agua-aceite hidráulico) o elementos deteriorados de la máquina.						
TOTAL LIMPIEZA (C) :							
CONTROL VISUAL	Funcionan las alarmas de emergencia de todas las máquinas.						
	Existen y se respetan las señalizaciones de peligro (extintores, salidas de emergencia, lámparas de emergencia, detectores de humo).						
	Los elementos de la máquina e instalación tienen aplicado control visual (identificación de las botoneras), completos y en buen estado.						
	Los elementos de control visual indican que hacer en caso de no OK.						
	Están identificados con colores los diferentes contenedores / áreas para producto no conformes y conformes.						
TOTAL CONTROL VISUAL (D) :							
DISCIPLINA Y HÁBITO	Los paseos, disciplina y hábito están planificados y los equipos externos e internos definidos.						
	Se han realizado los paseos planificados desde el último realizado.						
	Los paseos recogen evidencias y acciones concretas si son necesarias.						
	Las acciones se han realizado corrigiendo el problema y en el plazo estimado.						
	El indicador total paseo 5S está empeorando, estable o mejorando.						
TOTAL HÁBITO Y DISCIPLINA (E) :							
SEGURIDAD	Los operadores hacen uso correcto de equipo de protección personal dentro de la línea de producción.						
	Existen señales de emergencia (salidas, extintores, equipo contra incendios) así como tuberías y rutas de evacuación						
	Existen residuos peligrosos dentro de las estaciones de trabajo que pongan en riesgo a los operadores.						
	Las máquinas y botones de paro de emergencia funcionan de manera correcta sin poner en riesgo a nadie.						
	Existen elementos inseguros (charcos, cables pelados, máquinas sin guardas, falta de señalización o cualquier cosa que ponga en riesgo al personal) dentro de la línea.						
TOTAL SEGURIDAD (S) :							
CALIFICACIÓN TOTAL AUDITORÍA 5S (A + B + C + D + E + S):							

3.8.2 Controlar los resultados obtenidos después de la aplicación del trabajo estandarizado

Para controlar los resultados, después de la aplicación del trabajo estandarizado, en la línea de producción LP 2, se decidió realizar un *check list* (Tabla 3.87), con el objetivo de que se realice un recorrido de manera mensual, en donde se observe y registre el estado, visibilidad y limpieza de las hojas de trabajo estandarizado, colocadas en los diferentes procesos. Con base en la verificación se puedan tomar acciones correctivas: limpiar, reemplazar o recolocar las hojas de los procesos que así lo requieran.

Tabla 3.87 Check list para hojas de trabajo estandarizado (Fuente: elaboración propia).

CHECK LIST						
Realizó:			Fecha:			
Línea de producción:			Turno:			
Proceso	¿El estado de la hoja es bueno?		¿La hoja se encuentra visible en el proceso?		¿Las hojas se encuentran limpias?	
Láser # 1	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Láser # 2	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Off-line # 1	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Off-line # 2	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Off-line # 3	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Colocación pin	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Plastisol	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Prensado	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Pulido # 1	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Pulido # 2	Sí	No	Sí	No	Sí	No
CNC Convencional	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Crush & Broach	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Clip Machine	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Bevel and Sharpen	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Crush Grind	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Empaque # 1	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Empaque # 2	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Enmangando	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Ensamble	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Flat grind	Sí	No	Sí	No	Sí	No

3.8.3 Controlar los resultados después de la aplicación de *SMED*

Para controlar los resultados obtenidos, posterior a la aplicación de *SMED*, para las máquinas *Off-line* y para las máquinas *Crush & Broach* se decidió utilizar los formatos de verificación de actividades preparación realizados previamente en la Sección 3.5.5.4.3.2 y 3.5.6.4.3.1, ya que con estos formatos se podrá verificar que las actividades de preparación se realicen de acuerdo con los nuevos métodos planteados.

Por facilidad de lectura, el formato de verificación de actividades de preparación para las máquinas *Off-line* se muestra en la Tabla 3.88, mientras que el formato para las máquinas *Crush & Broach* se muestra en la Tabla 3.89.

Tabla 3.88 Verificación de actividades de preparación *Off-line* (Fuente: elaboración propia).

Lista de verificación de actividades (Proceso Off-line)					
Realizó:			Turno:		
Operador:			Fecha:		
No.	Actividades internas	¿Se realizó la actividad?	No.	Actividades externas (turno anterior)	¿Se realizó la actividad?
1	Coloca el aceite en el depósito de las máquinas.	Sí No	1	Limpia la base de las máquinas.	Sí No
2	Toma herramienta para montar brocas y cortadores.	Sí No	2	Toma herramienta para desmontar brocas y cortadores.	Sí No
3	Monta brocas y coradores en las máquinas.	Sí No	3	Desmonta las brocas y los cortadores.	Sí No
4	Enciende en tablero cabezales, fresadoras, avellanador y bomba de agua.	Sí No	4	Coloca las brocas y los cortadores desmontados en área común.	Sí No
5	Toma la herramienta para realizar ajustes.	Sí No	5	Coloca la herramienta utilizada en un carrito de herramientas.	Sí No
6	Ajusta brocas y cortadores	Sí No	6	Va a almacén de materia prima.	Sí No
7	Realiza pruebas en vacío de brocas y cortadores.	Sí No	7	Solicita material de acuerdo a la tijera a fabricar.	Sí No
8	Verifica el giro de brocas y cortadores.	Sí No	8	Regresa a estación de trabajo.	Sí No
9	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.	Sí No	9	Va a almacén de mantenimiento.	Sí No
10	Toma una caja de material del depósito de la línea.	Sí No	10	Toma brocas, cortadores y aceite para las máquinas.	Sí No
11	Regresa a la estación de trabajo.	Sí No	11	Regresa a estación de trabajo.	Sí No
12	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.	Sí No			
13	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.	Sí No			
14	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.	Sí No			
15	Acciona la primera máquina.	Sí No			
16	Verifica las características del barrenado para tornillo central.	Sí No			
17	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.	Sí No			
18	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.	Sí No			
19	Acciona la segunda máquina.	Sí No			
20	Verifica las características del barrenado para tornillo central.	Sí No			
21	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.	Sí No			
22	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.	Sí No			
23	Acciona la tercera máquina.	Sí No			
24	Verifica las características del desvate para resorte.	Sí No			
25	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.	Sí No			
26	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.	Sí No			
27	Acciona la cuarta máquina.	Sí No			
28	Verifica las características del barrenado para seguro.	Sí No			
29	Ajusta caída de la herramienta de corte de la cuarta máquina.	Sí No			
30	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.	Sí No			
31	Acciona la quinta máquina.	Sí No			
32	Verifica las características del corte angular para resorte.	Sí No			
33	Ajusta caída de la herramienta de corte de la quinta máquina.	Sí No			
34	Lleva la forja a la base de la sexta máquina.	Sí No			
35	Acciona la sexta máquina.	Sí No			
36	Verifica las características de la cuerda del agujero para el seguro.	Sí No			
37	Ajusta caída de la herramienta de corte de la sexta máquina.	Sí No			
38	Realiza corrida de prueba.	Sí No			
39	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.	Sí No			

Tabla 3.89 Verificación de actividades de preparación Crush & Broach (Fuente: elaboración propia).

Lista de verificación de actividades (Proceso: Crush & Broach)					
Realizó:			Turno:		
Operador:			Fecha:		
No.	Actividades internas	¿Se realizó la actividad?	No.	Actividades externas (turno anterior)	¿Se realizó la actividad?
1	Enciende bomba y abre válvulas de refrigerante.	Sí No	1	Limpia la base de las máquinas.	Sí No
2	Toma herramienta para montar brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Sí No	2	Toma herramienta para desmontar.	Sí No
3	Monta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Sí No	3	Desmonta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Sí No
4	Enciende en tablero máquinas (taladros, crush grinder y máquina brochadora).	Sí No	4	Coloca lo desmontado en área común.	Sí No
5	Toma la herramienta para realizar ajustes.	Sí No	5	Coloca la herramienta utilizada en un carrito.	Sí No
6	Ajusta brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Sí No	6	Va a almacén de mantenimiento.	Sí No
7	Realiza pruebas en vacío.	Sí No	7	Toma brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Sí No
8	Verifica el funcionamiento de brocas, piedras abrasivas y varilla brochadora.	Sí No	8	Regresa a estación de trabajo.	Sí No
9	Se dirige al depósito de materia prima de la línea.	Sí No			
10	Toma una caja de material del depósito de la línea.	Sí No			
11	Regresa a la estación de trabajo.	Sí No			
12	Coloca la caja de material en la estación de trabajo.	Sí No			
13	Coloca un puño de material en la base de las máquinas.	Sí No			
14	Coloca una forja sobre la base de la primera máquina.	Sí No			
15	Acciona la primera máquina.	Sí No			
16	Verifica las características del corte angular para resorte.	Sí No			
17	Ajusta caída de la herramienta de corte de la primera máquina.	Sí No			
18	Lleva la forja a la base de la segunda máquina.	Sí No			
19	Acciona la segunda máquina.	Sí No			
20	Verifica las características del doble barrenado para pines.	Sí No			
21	Ajusta caída de la herramienta de corte de la segunda máquina.	Sí No			
22	Lleva la forja a la base de la tercera máquina.	Sí No			
23	Acciona la tercera máquina.	Sí No			
24	Verifica las características del avellando para pines.	Sí No			
25	Ajusta caída de la herramienta de corte de la tercera máquina.	Sí No			
26	Lleva la forja a la base de la cuarta máquina.	Sí No			
27	Acciona la cuarta máquina.	Sí No			
28	Verifica las características del ángulo de la piedra abrasiva.	Sí No			
29	Ajusta la posición de la piedra abrasiva de la cuarta máquina.	Sí No			
30	Lleva la forja a la base de la quinta máquina.	Sí No			
31	Acciona la quinta máquina.	Sí No			
32	Verifica las características del ovalo con varilla brochadora para tornillo.	Sí No			
33	Ajusta subida de varilla brochadora de la quinta máquina.	Sí No			
34	Realiza corrida de prueba.	Sí No			
35	Verifica el resultado de las operaciones realizadas.	Sí No			

3.9 Conclusión

La metodología empleada resultó fundamental para alcanzar el objetivo del presente proyecto: mejorar los indicadores que afectan la productividad en una línea de producción, de una empresa del centro del estado de Veracruz, mediante la aplicación de las fases DMAIC y *lean manufacturing*. A través de esta metodología, se integraron diversas herramientas de ingeniería industrial, como el diagrama SIPOC, el VSM, el diagrama de Ishikawa, la lluvia de ideas, el método por puntos, las 5S, el trabajo estandarizado y *SMED*. Estas herramientas fueron esenciales para diagnosticar la situación actual de la empresa, definir indicadores clave, identificar las causas raíz que afectaban dichos indicadores, medirlos, aplicar las 5S, estandarizar el trabajo y optimizar los procesos mediante *SMED*. Finalmente, se validaron los resultados obtenidos mediante una prueba de hipótesis, validando las mejoras implementadas.

Capítulo 4

Resultados

En este capítulo se exponen los resultados derivados de la aplicación de la metodología descrita en el capítulo tres, cuyo objetivo fue mejorar los indicadores que afectan la productividad en una línea de producción, de una empresa del centro del estado de Veracruz, mediante la aplicación de las fases DMAIC. También se presenta el análisis estadístico realizado que valida la hipótesis inicial, comparando los resultados obtenidos con la implementación del trabajo estandarizado, las 5S y *SMED*. Adicionalmente, se incluye una sección sobre los productos académicos generados durante la investigación, destacando su impacto en la solución de problemas relacionados con la mejora de indicadores que afectan la productividad en las líneas de producción.

4.1 Discusión

En el marco de este proyecto, se implementaron las metodologías de trabajo estandarizado, las 5S y *SMED* en la línea de producción LP 2, lo que permitió lograr mejoras significativas en los indicadores que afectan la productividad de la línea lo cual tuvo un efecto positivo en la operación general de ésta. La reducción del desperdicio de material y de los tiempos de preparación de máquinas fueron los principales avances.

Antes de aplicar el trabajo estandarizado y las 5S, la línea de producción LP 2 generaba un desperdicio mensual de 476 forjas. Tras la implementación de estas herramientas, dicho desperdicio se redujo a 224 forjas, lo que representó una disminución del 52.94%. Esta mejora contribuirá a una mayor calidad en los productos y a una disminución de los costos relacionados con retrabajos, lo cual se ve reflejado en un aumento de productividad.

Por otro lado, antes de la implementación de *SMED*, en la línea de producción LP 2, el tiempo de preparación de las máquinas era de 59.53 minutos para las máquinas *Off-line* y de 43.99 minutos para las máquinas *Crush & Broach*. Luego de aplicar *SMED*, estos tiempos se redujeron a 35.18 minutos y 28.76 minutos, respectivamente, lo que representó una reducción

del 40.90% y 34.92%. Estas mejoras facilitarán una preparación más eficiente de las máquinas y brindarán más tiempo para la fabricación de tijeras de corte aumentado su producción y, consecuentemente, la productividad.

Al finalizar el proyecto, los resultados obtenidos respaldaron firmemente la hipótesis inicial, que indicaba que los indicadores que afectan la productividad de la línea de producción LP 2 mejorarían después de aplicar las fases DMAIC y *lean manufacturing*. De acuerdo con los datos presentados en las Secciones 3.7.1, 3.7.2 y 3.7.3, se logró validar estadísticamente la mejora de estos indicadores, demostrando que en los tres indicadores se logró una mejora significativa que repercutirá en el aumento de la productividad.

En resumen, los indicadores que afectan la productividad de la línea de producción LP 2, como el tiempo de preparación de las máquinas *Off-line* (Sección 3.3.3), el tiempo de preparación de las máquinas *Crush & Broach* (Sección 3.3.4) y el desperdicio de material (Sección 3.3.5), mostraron reducciones del 40.90%, 34.62% y 52.94%, respectivamente. Estos resultados demuestran claramente las mejoras alcanzadas tras aplicar las fases DMAIC y *lean manufacturing*, lo que ha tenido un impacto positivo en la productividad de la línea de producción LP 2.

4.2 Productos académicos

A lo largo del presente proyecto de investigación se generaron dos productos académicos: el presente proyecto y dos artículos: 1) "*Aplicación de las 5S y trabajo estandarizado en una empresa del sector manufacturero para la reducción del desperdicio de material*" y 2) "*Reducción de tiempos de preparación de máquinas aplicando SMED en una empresa manufacturera*".

El primer artículo abordó la necesidad de una empresa manufacturera de reducir el número de forjas dañadas en el área de producción, lo cual requirió la definición de una metodología específica. La metodología propuesta consistió en la implementación de las 5S y el trabajo estandarizado. La combinación de ambas estrategias permitió optimizar los recursos, mejorar la calidad del producto y aumentar la rentabilidad de la empresa. La mejora continua, la

organización eficiente y la estandarización de procesos fueron elementos clave para alcanzar estos resultados, lo que se reflejó en una reducción mensual en el número de forjas dañadas.

El segundo artículo trató sobre la necesidad de una empresa manufacturera de disminuir los tiempos de preparación de máquinas, para lo cual se definió e implementó una metodología basada en *SMED*. Esta metodología incluyó la clasificación y optimización de actividades internas y externas, así como la conversión de actividades internas en externas y la propuesta de mejora de actividades. Estas estrategias permitieron disminuir significativamente el tiempo promedio de preparación, optimizando los recursos disponibles y aumentando la eficiencia operativa. La mejora continua, la colaboración del personal operativo y la capacitación fueron elementos fundamentales para lograr estos resultados, lo que se reflejó en una reducción del 40.90% en los tiempos de preparación de máquinas de perforado.

Conclusiones y recomendaciones

En esta sección se presentan, 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 presente investigación, enfocada en la mejora de los indicadores que afectan la productividad en una línea de producción, mediante la aplicación de las fases DMAIC y *lean manufacturing*, en la empresa en estudio, produjo resultados de gran relevancia para la mejora de sus operaciones. A través de la aplicación de la metodología descrita en el capítulo tres, se lograron avances significativos en la mejora de los indicadores, lo que respaldó la hipótesis inicial de que los indicadores que afectan la productividad de la línea de producción LP 2 mejorarían después de aplicar las fases DMAIC y *lean manufacturing*.

El proyecto inició con un diagnóstico de la empresa en estudio que incluyó entrevistas con el gerente de planta, supervisores y personal operativo, así como recorridos por el área de producción. Este análisis permitió identificar diversas áreas de oportunidad en la línea LP 2.

El objetivo principal de esta investigación fue mejorar los indicadores que afectan la productividad en la línea LP 2. Para ello, primero se definieron dichos indicadores: tiempo de preparación de máquinas *Off-line*, tiempo de preparación de máquinas *Crush & Broach*, y desperdicio de material. Para mejorar estos indicadores se utilizaron herramientas de ingeniería industrial y *lean manufacturing*, tales como el diagrama SIPOC, el diagrama de Ishikawa, la lluvia de ideas, el método por puntos, el diagrama relacional y el mapeo de la cadena de valor (*Value Stream Mapping*), empleadas de manera independiente para identificar el estado actual de la empresa y las causas raíz de los problemas que afectaban los indicadores.

Con el objetivo de mejorar los indicadores que afectaban la productividad de la línea se aplicaron técnicas de *lean manufacturing*, como las 5S, trabajo estandarizado y *SMED*. Las 5S y el trabajo estandarizado se implementaron para reducir el desperdicio de material, mientras que *SMED* se utilizó para disminuir el tiempo de preparación de las máquinas *Off-line* y de las máquinas *Crush & Broach*; dos procesos críticos de la línea de producción LP 2.

Los resultados obtenidos, tras la aplicación de las técnicas de *lean manufacturing*, fueron validados mediante pruebas de hipótesis, con el objetivo de determinar si los valores de los indicadores después de la implementación de las 5S, el trabajo estandarizado y *SMED* eran estadísticamente menores que los obtenidos antes de su aplicación. La validación estadística resultó favorable, ya que, en los tres casos, la media de los indicadores antes de la mejora fue superior a la media posterior a ésta. Esto demostró que los tres indicadores mejoraron, tras la implementación de la metodología basada en las fases DMAIC y *lean manufacturing*, con lo cual, se reducen los costos de producción, aumenta el tiempo disponible para fabricación y, por consecuencia, se aumenta la productividad

Finalmente, con el desarrollo del presente proyecto se identificaron actividades clave de control y seguimiento, para concentrarse en las causas principales que más impactaron los tres indicadores. Además, se ofrecieron soluciones prácticas a una problemática común en el sector manufacturero y se demostró la efectividad de las fases DMAIC, en conjunto con la aplicación de *lean manufacturing* en el contexto de una organización real.

Recomendaciones

Para asegurar y potenciar los resultados alcanzados en este proyecto, se sugieren las siguientes acciones:

1. Fortalecer las capacitaciones y el enfoque en la mejora continua del personal operativo de la línea de producción LP 2, lo que asegurará que las mejoras implementadas se mantengan y perduren a lo largo del tiempo.

2. Utilizar los formatos diseñados para el control de resultados, lo que permitirá un seguimiento adecuado y la posibilidad de tomar acciones correctivas cuando sea necesario. Asimismo, se recomienda implementar más formatos similares para futuras mejoras.
3. Aplicar la metodología *SMED* en los procesos críticos de otras líneas de producción para reducir los tiempos de preparación y maximizar el tiempo disponible de las máquinas, garantizando un aumento en la productividad.
4. Mantener una comunicación constante entre los departamentos de producción, mantenimiento y almacén para asegurar una colaboración eficiente y evitar problemas relacionados con el abastecimiento de materiales y herramientas en los procesos.
5. Realizar de forma trimestral una jornada de 5S en toda el área de producción, con el fin de mantener el orden y la limpieza en los procesos, lo que contribuirá al buen estado de las máquinas y equipos, además de proporcionar un entorno de trabajo organizado y eficiente.

Estas recomendaciones consolidaran las mejoras implementadas, asegurando un enfoque constante en la mejora de los indicadores que afectan la productividad, tanto de la línea LP 2 como de las demás que conforman el área de producción de la empresa en estudio.

La experiencia de llevar a cabo este proyecto ha sido intelectualmente enriquecedora y motivadora, debido a los constantes retos que presentó la problemática inicial. Esto permitió al autor poner en práctica los conocimientos adquiridos durante la maestría en ingeniería industrial, además de redactar dos artículos de investigación. Con esta información, el autor confía en haber hecho una contribución significativa al debate académico sobre la mejora de los indicadores que afectan la productividad de las líneas de producción, dentro de una empresa del sector manufacturero, mediante las fases DMAIC y *lean manufacturing*, y así facilitar el trabajo de futuros investigadores en este campo. Finalmente, el autor expresa su satisfacción al culminar este proyecto, ya que cada paso, análisis y evaluación realizada ha conducido al cumplimiento de los objetivos propuestos. Este proyecto no sólo constituye un trabajo académico, sino que también refleja el compromiso y la dedicación del autor, lo que le permitirá obtener el título de maestro en ingeniería industrial.

Fuentes de información

- Alvear, A. (2016). *Aumento de la productividad de la línea dos del área de envasado de cervicería nacional utilizando trabajo estandarizado*. UDLA.
- Alvines, M. (2021). *Aplicación de DMAIC para mejorar la productividad en una línea de yogurt bebible de una empresa láctea*. Lima, 2021. Universidad César Vallejo.
- Arellano, C. (2020). *Propuesta de mejora en la línea de confección de batas desechables para aumentar la productividad utilizando trabajo estandarizado en una industria textil*. UDLA.
- Arias, J. (2021). *Aplicación de SMED en el cambio de artículo para mejorar la productividad en el área de tejeduría de una textil*. Universidad tecnológica del Perú.
- Aspiros, C. (2023). *Implementación de la metodología de las 5S para mejorar la productividad del área de almacén de una empresa de servicios*. Universidad San Ignacio de Loyola.
- Baca Urbina, G. (2013). *Evaluación de proyectos*. In M. Hill (Ed.).
- Becerril, O., Godínez, J., & Canales, R. (2018). Innovación y productividad en la industria metalmeccánica de México, el contexto actual, 2010-2016. *Revista de Coyuntura y Perspectiva*, 4, 1–50.
- Buitrón, C. (2008). *Desarrollo e implementación del trabajo estandarizado de la línea de producción en el ensamble de asientos para la empresa Domizil*. Escuela Politécnica Nacional.
- Cabrera, R. (2014). *TPS: Americanizado: Manual de lean manufacturing*.
- Cajal, A. (2022, December 15). *Lifeder*. ¿Qué Son Las Actividades Primarias, Secundarias y Terciarias?
- Cantú, H. (2011). *Desarrollo de una cultura de calidad*. McGraw-Hill.
- Casapaico, F. (2022). *Incremento de la capacidad de producción de las líneas de empaque de embutidos y quesos aplicando la metodología DMAIC*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Castaño, N., & Hincapié, S. (2014). *Desarrollo de un plan para la aplicación de SMED en el área de sellado de una empresa flexográfica*. Escuela de ingeniería de Antioquia.

- Chávez, J., Santiesteban, N., González, F., Fierro, M., & Luna, V. (2022). Optimización del proceso de barrenado para el incremento de la productividad y reducción de rechazos a través de la metodología DMAIC: Caso empresa del sector automotriz. *Estudios de Administración*, 142–164.
- Chilón, X., Esquivel, L., & Estela, W. (2017). Implementación de las 5 S's para incrementar la productividad en una planta embotelladora de agua. *INGnosis*, 130–139.
- Crespo, M. (2017). *Propuesta para aumento de la productividad de la línea de confección de batas de cirujano en empresa textil FAMEDIC utilizando trabajo estandarizado*. UDLA.
- Cuc-Cab, A. (2005). *Aplicación de la técnica SMED en la fabricación de envases aerosoles*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Díaz, L., Torruco, U., Martínez, M., & Varela, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Elsevier*, 162–167.
- Escalante, E. (2008). *Seis sigma metodología y técnicas*. Limusa.
- Falcó, A. (2009). *Herramientas de calidad*.
- Galgano, A. (1995). *Los siete instrumentos de la calidad total* (Díaz de Santos S.A.). Lavel S.A.
- Garrido, J. (2018). Aplicación de la metodología DMAIC para la mejora de la productividad de la línea de envasado de GLP en la empresa Pronto Gas S.A. en el año 2018. *Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrion*, 1–20.
- Godoy, F., & Machuca, B. (2021). *herramientas lean manufacturing para incrementar la productividad en la línea de ropa de cama de una empresa textil*”, describe la aplicación de herramientas lean, como las 5 S's. Universidad San Ignacio de Loyola.
- Guerra, J. (2019). *Gestión por procesos guía de implementación*.
- Guerra, R. (2018). *Aplicación del modelo SMED en el proceso productivo de línea de extrusión para mejorar la productividad de la empresa INDECO*. Universidad César Vallejo.
- Gutierrez, H. (2010). Lluvia de ideas. *Calidad Total y Productividad*, 198–199.
- Herrera, B. (2017). *Implementación de la metodología 5S en el laboratorio de no metálicos FIQ*. Universidad nacional del centro del Perú.

- Jiménez, D. (2012, October 18). *Pymes y calidad 2.0*. SIPOC-Un Diagrama de Lo Más Útil Para Mapeo de Procesos.
- Loayza, B., & Quispe, M. (2020). *Aplicación de las metodologías 5S y VSM para mejorar la productividad de la empresa de muebles Cabrera CORP, SJL, 2020*. Universidad César Vallejo.
- López, L. (2013). *Implementación de la metodología 5S en el área de almacenamiento de materia prima y producto terminado de una empresa de fundición*. Universidad Autónoma de Occidente.
- Madariaga, F. (2013). *Lean manufacturing: Exposición adaptada a la fabricación repetitiva de familias de productos mediante procesos discretos*. Bubok Publishing.
- Martínez, C., & Barcia, K. (2010). propuesta para la implementación de la metodología de mejora 5 S's en una línea de producción de panes de molde. *Escuela Superior Politécnica Del Litoral*, 1–8.
- Menacho, J. (2017). *Caracterización de la gestión de calidad bajo el enfoque de las 5S en las micro y pequeñas empresas del sector industrial*. Universidad católica de los ángeles de Chimbote.
- Morey, V. (2013). Incremento de la productividad a través del mapeo de flujo de valor (VSM) en una empresa metalmecánica. *Memorias Del II Congreso Binacional de Investigación, Ciencia y Tecnología de Las Universidades*, 104–107.
- Murillo, J. (2018). La entrevista. *Universidad Centroamericana José Simeón Cañas*, 1–20.
- Pereira, C., Maycotte, C., Restrepo, B., Montes, A., & Esther, M. (2011). *Economía 1* (1st ed.). Espacio Gráfico Comunicaciones S.A.
- Plúas, M., Méndez, M., Plúas, D., & Huayamave, Á. (2019). Mejora del proceso continuo mediante la aplicación de la metodología DMAIC en la línea de producción chocolatera de una empresa alimenticia. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 23, 14–22.
- Pushug, J. (2023). Aplicación de la metodología DMAIC en una línea de envasado de polvo detergente para la reducción del costo de producción. *Universidad Politécnica Salesiana*, 1–33.
- Ríos, E. (2018). *Aplicación de lean manufacturing para aumentar la productividad de la línea de producción de calzado de seguridad GYW de la empresa SEGUSA SAC*. Universidad Nacional de Trujillo.

- Salazar, L. (2010). *Metodología SMED (cambios rápidos) para mejorar la productividad de la línea de galletas dulces en la planta de producción de colombina del Cauca S.A.* Universidad Autónoma de Occidente.
- Socconini, L. (2019). *Lean manufacturing paso a paso* (1st ed.). Marge Books.
- Tamborero, J. (1999). *NTP 391: Herramientas manuales (I): condiciones generales de seguridad.*
- Tools, K. (2024, March 21). *Klein Tools*. Herramientas Manuales a Través de La Historia.
- Vargas, E., & Camero, J. (2021). Aplicación del lean manufacturing (5s y Kaizen) para el incremento de la productividad en el área de producción de adhesivos acuosos de una empresa manufacturera. *Revista Industrial Data*, 249–260.
- Velasco, W., & Acosta, S. (2021). *Propuesta de implementación de la metodología de las 5S para el almacén de segundas de la empresa Vecol S.A.* Universidad ECCI.
- Winter, R. (2000). Lluvia de ideas. *Manual de Trabajo En Equipo*, 19–23.