



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

AREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA

Título del trabajo:

**“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SMED
PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS TIEMPOS
EN EL CAMBIO Y MONTAJE DE
HERRAMENTALES EN PROCESOS
PRODUCTIVOS”**

P R E S E N T A

RAFAEL FRANCISCO VARGAS LÓPEZ

Director de Tesis:

Dr. Edmundo Roldán Contreras



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

School of Engineering and Basic Sciences

Dirección

Office of the Director

Mineral de la Reforma, Hgo., a 4 de junio de 2026

Número de control: ICBI-D/1057/2026

Asunto: Autorización de impresión.

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

Con Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V, Artículo 51 Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio, le comunico que el Jurado asignado al egresado de la Licenciatura en Ingeniería Industrial **Rafael Francisco Vargas López**, quien presenta el trabajo de titulación **"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SMED PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS TIEMPOS EN EL CAMBIO Y MONTAJE DE HERRAMIENTALES EN PROCESOS PRODUCTIVOS"**, ha decidido, después de revisar fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; dicho trabajo en la reunión de sinodales, **autorizar la impresión del mismo**, una vez realizadas las correcciones acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

Presidente: Ing. Roberto Pichardo Cabrera

Secretario: Dr. César Alfonso Arroyo Barranco

Vocal: Dr. Edmundo Roldán Contreras

Suplente: Mtro. Carlos Adrián Jaramillo Hernández

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Dr. Gabriel Vergara Rodríguez
Director del ICBI

Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo
Km. 4.5 Colonia Camoneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo,
México. C.P 42184

Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 40001

direccion_icbi@uaeh.edu.mx, vergara@uaeh.edu.mx

GVR/MMM

"Amor, Orden y Progreso"



uaeh.edu.mx

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme dado la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para llegar hasta aquí. Su guía ha sido luz en mi camino y sostén en los momentos más difíciles.

A mi madre, mi ejemplo de amor y entrega, gracias por tu apoyo incondicional y por estar siempre presente, incluso en la distancia. A pesar de los kilómetros, sentí tu fuerza, tus palabras y tu amor en cada etapa de este proceso. Tu fe en mí ha sido mi mayor impulso.

A mi familia paterna, gracias por su constante apoyo, por motivarme a seguir adelante y por su paciencia a lo largo de este camino. Su compañía y aliento han sido fundamentales.

Agradezco también a mi director de Tesis por su orientación, dedicación y compromiso. Su guía académica y humana ha sido esencial para la realización de este trabajo.

A todos ustedes, gracias por caminar conmigo y por ser parte esencial de este logro.

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mi hija, que, aunque ausente físicamente, ha estado presente en cada pensamiento, en cada esfuerzo y en cada logro. Su existencia me inspira a ser mejor cada día, y esta meta alcanzada también es para ella.

A mis amigos y compañeros, quienes caminaron conmigo en este proceso, compartiendo palabras de aliento, consejos y momentos que hicieron más liviana la carga. Su compañía ha sido valiosa.

A mis maestros, por haber sembrado en mí el deseo de aprender, cuestionar y crecer. Cada enseñanza recibida ha dejado huella en este trabajo y en mi formación.

Y finalmente, me dedico esta tesis a mí mismo, por no rendirme, por seguir adelante a pesar de los obstáculos, y por creer, incluso cuando las fuerzas flaqueaban. Este logro es también un acto de reconciliación con mis propios límites, y una afirmación de lo que soy capaz de alcanzar.

Tabla de contenido

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA.....	i
RESUMEN	1
ABSTRAC.....	2
CAPÍTULO I.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
1.1 ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA.....	6
1.2 MISIÓN	6
1.3 VISIÓN	7
1.4 UBICACIÓN	7
1.5 VALORES.....	8
1.6 POLÍTICA DE CALIDAD	8
1.7 POLÍTICA AMBIENTAL.....	8
1.8 PRINCIPALES CLIENTES	9
1.9 ORGANIGRAMA DEL DELPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN	10
1.10 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
DESCRIPCIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.....	11
CAPÍTULO II	13
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	13
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
2.3 HIPÓTESIS.....	15
2.4 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	15
ALCANCES DEL PROYECTO.....	15
LIMITACIONES DEL PROYECTO	16
2.5 JUSTIFICACIÓN.....	17
CAPÍTULO III	20
MARCO TEÓRICO.....	20
3.1 LEAN MANUFACTURING: CONCEPTOS Y PRINCIPIOS	21
3.2 HISTORIA Y ORIGEN DEL SMED (SHIGEO SHINGO).....	21
CONCEPTO, ELEMENTOS Y OBJETIVO DE LA METODOLOGÍA SMED.....	24
VENTAJAS Y BENEFICIOS DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SMED ...	25

3.3 FUNDAMENTOS DEL SMED	29
3.4 ETAPAS DEL SMED	29
3.5 INDICADORES CLAVE DEL PROCESO	31
3.6 CASOS DE APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA	32
CAPÍTULO IV	34
DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA.....	34
4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO ACTUAL	35
4.2 IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	36
4.3 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	37
4.4 IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE DESPERDICIOS	39
4.5 PROBLEMÁTICA ESPECÍFICA DETECTADA.....	42
CAPÍTULO V	46
IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA SMED	46
5.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	47
TIPO DE INVESTIGACIÓN	47
DISEÑO METODOLÓGICO.....	47
5.2 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	48
5.3 HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS UTILIZADAS	49
5.4 ANÁLISIS DEL SETUP ACTUAL	51
5.5 PROPUESTA DE MEJORA	52
5.6 ACTIVIDADES OPERATIVAS.....	53
5.7 SEPARACIÓN DE ACTIVIDADES INTERNAS Y EXTERNAS	58
5.8 OPTIMIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES.....	59
CAPÍTULO VI.....	75
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	75
6.1 COMPARATIVA ANTES VS. DESPUÉS	76
6.2 IMPACTO EN INDICADORES: OEE, DISPONIBILIDAD, PRODUCTIVIDAD	78
6.3 REDUCCIÓN DE TIEMPOS LOGRADA VS. OBJETIVO PLANTEADO.....	79
6.4 RESULTADOS	81
6.5 ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO	82
6.6 CONCLUSIONES	83
6.7 RECOMENDACIONES	85

6.8 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	87
ANEXO 1	88
GLOSARIO	89
REFERENCIAS	92

Índice de tablas

Tabla 1 Tabla de tiempos de puesta a punto. Fuente: Elaboración propia.	38
Tabla 2 Tabla de actividades internas y externas. Fuente: Elaboración propia.	59
Tabla 3 Tabla de tiempos puesta a punto después de SMED. Fuente: Elaboración propia.	73

Índice de imágenes

Imagen 1 Ubicación de la empresa. Fuente: Google Maps.....	7
Imagen 2 Principales clientes. Fuente: Elaboración propia.....	9
Imagen 3 Organigrama del departamento de producción. Fuente: Elaboración propia.	10
Imagen 4 Análisis 5 por qué. Fuente: Elaboración propia.	12
Imagen 5 Tiempo de espera a que llegue el troquel. Fuente: Elaboración propia.	40
Imagen 6 Tiempo muerto por búsqueda de amarres. Fuente: Elaboración propia.	40
Imagen 7 Verificaciones adicionales. Fuente: Elaboración propia.....	41
Imagen 8 Falta de orden y limpieza en la prensa. Fuente: Elaboración propia. ...	42
Imagen 9 Búsqueda de documentación en sistema SAP. Fuente: Elaboración propia.	54
Imagen 10 Búsqueda de llaves españolas. Fuente: Elaboración propia.	54
Imagen 11 Traslado de amarres y paralelas. Fuente: Elaboración propia.....	54
Imagen 12 Operador desamarrando de troquel. Fuente: Elaboración propia.	55

Imagen 13 Operador en espera de que le lleven el troquel. Fuente: Elaboración propia.	56
Imagen 14 Subir y alinear el troquel en la prensa. Fuente: Elaboración propia. ...	56
Imagen 15 Búsqueda de materia prima. Fuente: Elaboración propia.....	57
Imagen 16 Traslado de materia prima a la prensa. Fuente: Elaboración propia. ..	57
Imagen 17 Calibrar presión de la prensa. Fuente: Elaboración propia.....	58
Imagen 18 Desamarre del troquel. Elaboración propia.	60
Imagen 19 Troquel desamarrado. Elaboración propia.....	60
Imagen 20 Carga de trabajo. Fuente: Elaboración propia.....	61
Imagen 21 Lista de montajes. Fuente: Elaboración propia.	62
o En la Imagen 24 “Operador amarrando el troquel”, el montador ya debe de tener sus herramientas y kit’s de amarre listos.	62
Imagen 22 Subir el troquel a prensa con el montacargas. Fuente: Elaboración propia.	63
Imagen 23 Alinear el troquel entre el montador y el montacargarguista. Elaboración propia.	63
Imagen 24 Operador amarrando el troquel. Elaboración propia.....	64
Imagen 25 Liberación de 1er pieza vs dispositivo de medición. Fuente: Elaboración propia.	64
Imagen 26 Liberación de 1er pieza, toma de medidas con calibrador. Fuente: Elaboración propia.	65
Imagen 27 Gestión de las órdenes de producción. Fuente: Elaboración propia. ..	66
Imagen 28 Generación de la documentación para el operador. Fuente: Elaboración propia.	66
Imagen 29 Llevar la documentación a la prensa. Fuente: Elaboración propia.	67
Imagen 30 Buscar y llevar a prensa llaves españolas. Fuente: Elaboración propia.	68
Imagen 34 Elementos de kit de amarre. Elaboración propia.	69
Imagen 35 Paralelas a usar en el montaje del troquel. Elaboración propia.....	70
Imagen 36 Buscar materia prima. Fuente: Elaboración propia.....	71
Imagen 37 Llevar materia prima a prensa. Fuente: Elaboración propia.	72

Imagen 38 Gráfica de resultados antes vs después. Fuente: Elaboración propia. 76

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Productividad	43
Ecuación 2 Tiempo muerto.....	44
Ecuación 3 Porcentaje Utilización del personal	45

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo reducir el tiempo de montaje de herramientas mediante la implementación de la metodología SMED (Single-Minute Exchange of Die) en una empresa dedicada a la fabricación de partes metálicas troqueladas y soldadas. El estudio surge a partir de la identificación de una deficiencia significativa en el área de producción, originada por la ausencia de un método estandarizado para la gestión de los tiempos de puesta punto, lo que generaba alta variabilidad operativa, tiempos muertos elevados y bajo aprovechamiento de la capacidad productiva.

Para atender esta problemática, se realizó un análisis detallado del proceso de montaje de herramientas, apoyado en herramientas de ingeniería industrial como el estudio de tiempos y movimientos, el enfoque de los 5 porqués, la metodología SMED y la aplicación de las 5's. A partir de este diagnóstico, se diseñó e implementó un procedimiento estandarizado que permitió separar actividades internas y externas, eliminar tareas que no agregan valor y mejorar la organización del área de trabajo.

Los resultados obtenidos muestran una reducción del tiempo total de puesta punto de 185 a 40 minutos, equivalente a una disminución del 78%. Esta mejora permitió convertir tiempo improductivo en tiempo efectivo de producción, generando un incremento promedio de 2,610 piezas producidas por día. Asimismo, se obtuvo un beneficio económico estimado de \$10,440 pesos diarios y una mejora significativa en el orden, la seguridad y la disciplina operativa del área. Los resultados confirman que la implementación de SMED constituye una herramienta efectiva para incrementar la eficiencia, productividad y competitividad en procesos industriales.

ABSTRAC

This thesis aims to reduce tooling setup time through the implementation of the SMED (Single-Minute Exchange of Die) methodology in a company dedicated to the manufacturing of stamped and welded metal parts. The study emerged from the identification of a significant deficiency within the production area caused by the absence of a standardized method for setup time management, which resulted in high operational variability, excessive downtime, and low utilization of production capacity.

To address this issue, a detailed analysis of the tooling setup process was conducted using industrial engineering tools such as time and motion studies, the 5 Whys approach, the SMED methodology, and the implementation of the 5S system. Based on this diagnosis, a standardized procedure was designed and implemented to separate internal and external activities, eliminate non-value-added tasks, and improve workplace organization.

The results obtained show a reduction in total setup time from 185 to 40 minutes, representing a 78% decrease. This improvement made it possible to convert unproductive time into effective production time, generating an average increase of 2,610 additional parts produced per day. Furthermore, an estimated economic benefit of \$10,440 Mexican pesos per day was achieved, along with significant improvements in workplace order, safety, and operational discipline. The results confirm that the implementation of SMED constitutes an effective tool for increasing efficiency, productivity, and competitiveness in industrial processes.

CAPÍTULO I

Este capítulo tiene como propósito describir el contexto organizacional y operativo de la empresa donde se desarrolla el proyecto de mejora enfocado en la reducción de tiempos de puesta a punto en el área de troquelado. Para comprender la pertinencia del estudio, se analizan los antecedentes de la organización, su estructura productiva, su filosofía empresarial y las condiciones actuales en que se llevan a cabo los procesos de manufactura, elementos que permiten establecer el marco de referencia sobre el cual se identifica la problemática y se justifica la aplicación de herramientas de mejora continua.

En primer lugar, se presentan los antecedentes generales de la empresa, destacando su actividad principal dentro de la industria metalmecánica y su modelo de servicio integral, que abarca desde el diseño hasta la fabricación de componentes metálicos troquelados. Complementariamente, se describen los elementos de su filosofía organizacional, incluyendo misión, visión, valores y políticas de calidad, los cuales orientan las operaciones hacia la eficiencia productiva, la satisfacción del cliente y la mejora continua como principios rectores de la organización.

Posteriormente, se aborda el planteamiento del problema, describiendo la situación actual del proceso de puesta a punto, donde se identifican las principales deficiencias: falta de estandarización, registro inadecuado de tiempos de setup y presencia de actividades improductivas que impactan negativamente la eficiencia operativa. Este diagnóstico fundamenta la implementación de la metodología SMED para optimizar los tiempos de cambio de herramienta y mejorar indicadores clave como el OEE, representando una oportunidad concreta para incrementar la disponibilidad de los equipos y fortalecer la competitividad de la empresa.

1 INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la manufactura moderna, la eficiencia operativa representa un factor crítico para la competitividad de las empresas, especialmente en sectores de alta demanda como la producción de componentes industriales. Los tiempos de cambio y montaje de herramientas, conocidos como “setup times”, constituyen un cuello de botella significativo que puede incrementar los costos operativos, reducir la capacidad productiva y afectar la capacidad de respuesta ante fluctuaciones en la demanda del mercado. Ante este desafío, metodologías de mejora continua, como el Lean Manufacturing, han emergido como enfoques esenciales para optimizar procesos y eliminar desperdicios.

Una de las herramientas más efectivas dentro de este marco es la Metodología SMED (Single-Minute Exchange of Die), desarrollada por Shigeo Shingo en la década de 1950. Esta técnica busca reducir los tiempos de cambio de herramientas a menos de 10 minutos, transformando actividades externas (realizadas con la máquina detenida) en internas (ejecutadas durante el ciclo productivo), lo que permite una transición rápida y eficiente entre producciones. La implementación de SMED no solo acelera los procesos, sino que también mejora la flexibilidad, reduce inventarios y aumenta la productividad general, contribuyendo a una mayor sostenibilidad económica y ambiental.

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo principal implementar la metodología SMED como herramienta para optimizar los tiempos de cambio y montaje, con el fin de mejorar la eficiencia del proceso productivo en un entorno de fabricación de componentes metálicos. Para ello, se analizará el estado actual de los procesos, se aplicarán las fases de SMED (clasificación de actividades, conversión externa a interna, simplificación y estandarización), y se evaluarán los resultados mediante indicadores clave de rendimiento, como el tiempo de setup reducido y el aumento en la disponibilidad de equipos. Esta investigación se fundamenta en un enfoque empírico, combinando revisión bibliográfica con

aplicación práctica, y busca aportar conocimientos aplicables a la industria manufacturera, promoviendo la adopción de prácticas lean para enfrentar los retos de la producción globalizada.

A lo largo de la tesis, se abordarán los antecedentes teóricos de SMED, el marco metodológico utilizado, los resultados obtenidos y las implicaciones para la mejora continua, concluyendo con recomendaciones para su replicación en contextos similares. Este estudio no solo valida la efectividad de SMED en entornos específicos, sino que también resalta su potencial para transformar operaciones productivas hacia modelos más ágiles y eficientes.

1.1 ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA

Se trata de una empresa 100% mexicana que ofrece una solución integral para la fabricación de partes troqueladas. Nos definimos como una empresa “one stop shop”, (ventanilla única en español), definido como “modelo de negocio o servicio que ofrece una gran variedad de productos o servicios complementarios en un solo lugar, ya sea físico o virtual”, dado que, a partir del diseño de una parte metálica se desarrolla la pieza que nuestros clientes nos soliciten.

- ✓ Diseño del proceso de manufactura
- ✓ Diseño de herramentales
- ✓ Fabricación de herramentales
- ✓ Desarrollo del proyecto con estándares automotrices
- ✓ Producción de la parte
- ✓ Ensamblajes de componentes y acabados
- ✓ Empaque y envío al cliente
- ✓ Servicio postventa

1.2 MISIÓN

Nuestra misión es troquelar partes para fabricantes de equipo original y sus proveedores, ofreciendo un excelente servicio al cliente, flexibilidad de los procesos y precios competitivos. Generando con esto, beneficio económico, social y medio ambiental, en un entorno sano y con condiciones seguras para todos nuestros colaboradores.

1.5 VALORES

Los valores con los que predicaba el fundador de MAENA son los siguientes:

- ✓ Honestidad
- ✓ Respeto
- ✓ Compromiso
- ✓ Proactividad
- ✓ Lealtad

1.6 POLÍTICA DE CALIDAD

Es compromiso de todos, buscar la mejora continua, la satisfacción y el cumplimiento de los requerimientos negociados con nuestros clientes siendo productivos, ordenados, y constantes en nuestros procesos de fabricación de partes metálicas, troqueladas y soldadas, para cumplir los objetivos y lograr las expectativas de las partes interesadas.

1.7 POLÍTICA AMBIENTAL

Es compromiso de todos, proteger y cuidar el medio ambiente al identificar y controlar los aspectos e impactos ambientales generados en nuestros procesos de fabricación de partes metálicas troqueladas y soldadas, a través de la implementación y mejora de un sistema de gestión que nos permite el cumplimiento tanto de nuestros objetivos ambientales como de los requisitos legales aplicables y contraídos con las partes interesadas.

1.8 PRINCIPALES CLIENTES



Imagen 2 Principales clientes. Fuente: Elaboración propia.

1.9 ORGANIGRAMA DEL DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN

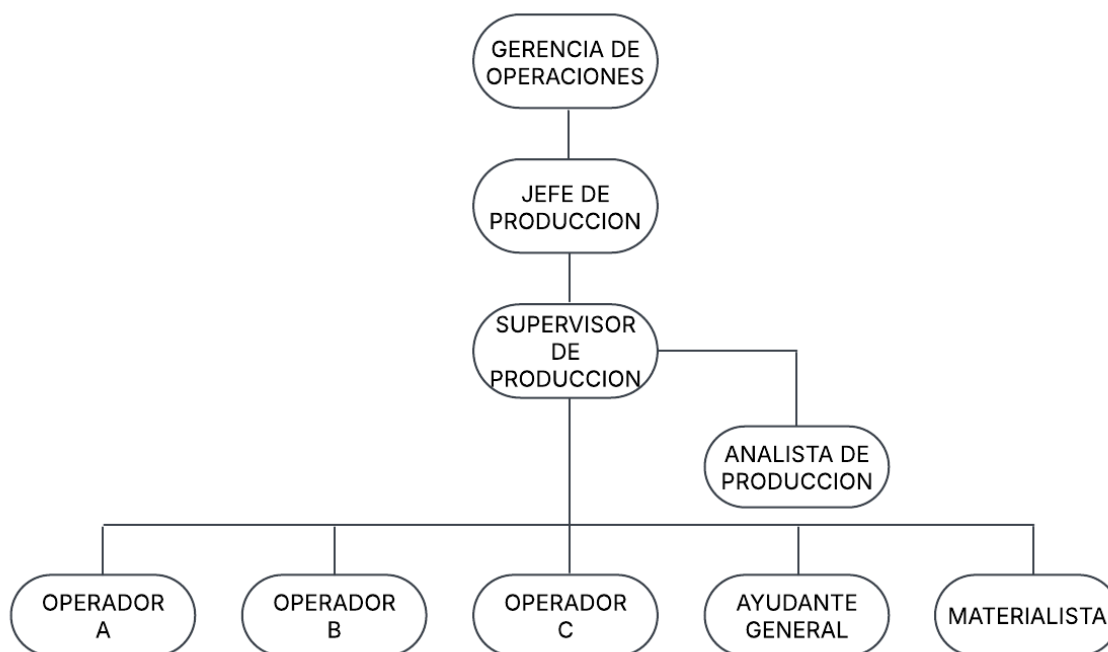


Imagen 3 Organigrama del departamento de producción. Fuente: Elaboración propia.

1.10 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

DESCRIPCIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

En la empresa dedicada a la fabricación de partes metálicas troqueladas y soldadas, se ha identificado una deficiencia significativa en el área de producción debido a la ausencia de un método estandarizado para el registro y la gestión de los tiempos de puesta punto. La falta de una metodología uniforme genera inconsistencias en el análisis y control de los procesos productivos, lo que dificulta la identificación de oportunidades de mejora y afecta negativamente la eficiencia operativa.

Esta carencia se traduce en una marcada variabilidad en los procesos, ya que la inexistencia de procedimientos claros impide la medición precisa de los tiempos de montaje, provocando diferencias innecesarias que deterioran la productividad. Además, en la práctica diaria se observa que los operadores dedican periodos prolongados a actividades improductivas, como deambular o conversar, incrementando los tiempos muertos y elevando los costos operativos de la empresa.

Frente a esta situación, y derivado del análisis que muestra la Imagen 4 “Análisis 5 por qué”, se plantea la implementación de un sistema de estandarización que permita establecer procedimientos claros y replicables en la puesta punto de equipos y procesos. Este sistema se fundamentará en herramientas de ingeniería industrial, tales como el análisis de tiempos y movimientos, la metodología SMED y el enfoque 5 por qué, con el objetivo de optimizar los tiempos de operación, reducir las variaciones innecesarias y garantizar un mayor control sobre las actividades de producción. La solución propuesta no solo contribuirá a mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos asociados a los tiempos improductivos, sino que también fortalecerá el sistema de producción de la empresa, permitiendo la adaptación del modelo estandarizado a otros componentes o procesos dentro de la organización y promoviendo una cultura de mejora continua.

Actualmente, la manera en que se trabaja en la empresa deja muchos gaps entre lo real y lo ideal. Debido a que no se tiene un manual de operaciones, por lo tanto,

significa que se carece de una estandarización en cuanto a la actividad de puesta punto se refiere.

Operadores buscando herramientas de montaje, instrucciones de trabajo, piezas de ajuste, esperando el traslado del troquel por parte del montacarguista, son unas de las principales razones por las cuales el cambio de herramientas no se cumple en menos de 10 minutos.

El escenario actual pone de manifiesto un problema bastante común en muchas empresas que aún no han adoptado prácticas estandarizadas ni metodologías efectivas como SMED para optimizar sus procesos. Cuando no hay un manual de operaciones o una estandarización clara, como en el caso de la Puesta punto, los equipos de trabajo se encuentran con una serie de ineficiencias que impactan negativamente en la productividad y competitividad de la empresa.

En este contexto, la Puesta punto se refiere al proceso de preparar y ajustar las máquinas o equipos antes de comenzar la producción, algo fundamental para reducir los tiempos de inactividad y garantizar un funcionamiento fluido.

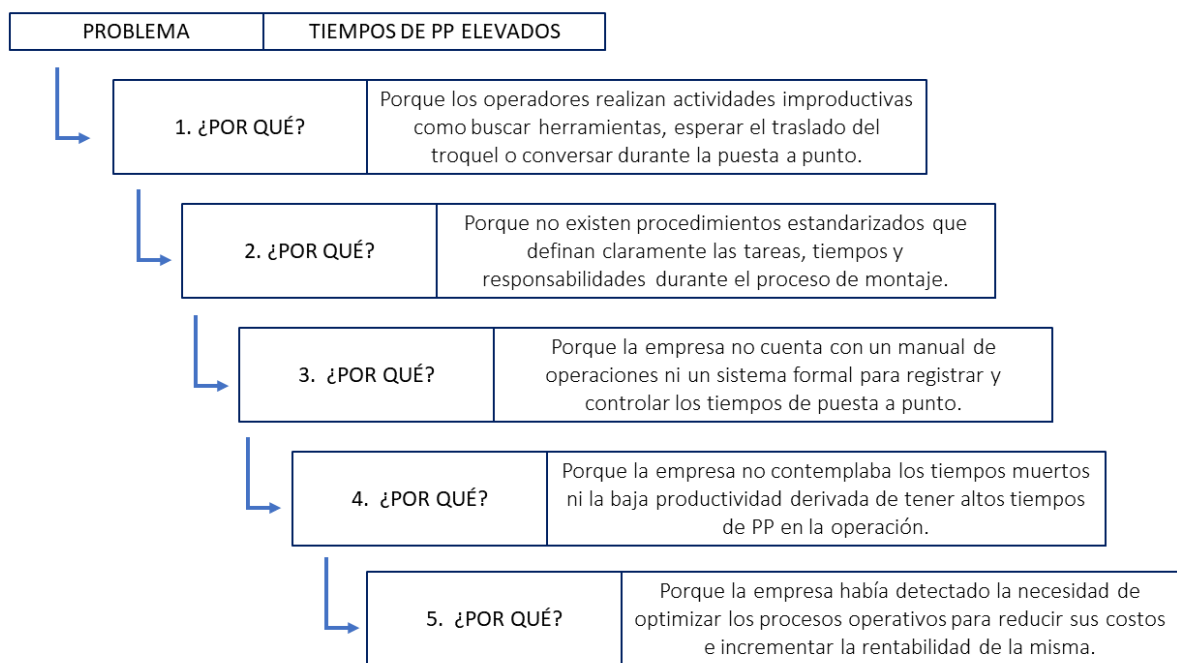


Imagen 4 Análisis 5 por qué. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Este capítulo presenta los elementos fundamentales que sustentan, delimitan y orientan el desarrollo del proyecto de mejora continua implementado en el área de troquelado. En primer lugar, se expone el objetivo general del proyecto, el cual establece como meta principal la reducción de los tiempos de cambio y montaje de herramientas en un 20% mediante la aplicación de la metodología SMED, con el propósito de mejorar la eficiencia operativa y la productividad en la fabricación de componentes metálicos. A partir de este objetivo central, se desprenden cinco objetivos específicos que estructuran el desarrollo metodológico del estudio, abarcando desde el análisis del estado actual del proceso de setup, la clasificación de actividades internas y externas, la conversión y simplificación de tareas, hasta la implementación, validación y evaluación de resultados obtenidos.

Posteriormente, se presenta la hipótesis de investigación, la cual sostiene que la implementación de la metodología SMED en el proceso de cambio de troquel permitirá reducir considerablemente el tiempo de setup, incrementando la disponibilidad del equipo y mejorando el rendimiento de la producción diaria. Esta premisa orienta el desarrollo del estudio y establece el criterio de éxito sobre el cual se evaluarán los resultados de la intervención.

A continuación, se definen los alcances y limitaciones del proyecto, elementos que delimitan con claridad el campo de acción del estudio. Entre los alcances destacan el análisis detallado de las causas raíz de las demoras, la participación del personal operativo y técnico, y la evaluación comparativa pre y post implementación. Por su parte, las limitaciones reconocen que el proyecto se circunscribe a los recursos disponibles dentro del área de producción, sin contemplar la adquisición de nuevos equipos ni intervenir en otras etapas del proceso productivo.

2.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar la metodología SMED (Single-Minute Exchange of Die) como herramienta estratégica para reducir los tiempos de cambio y montaje de herramientas en un 20%, con el propósito de mejorar la eficiencia operativa y la productividad en procesos de fabricación de componentes metálicos en la empresa.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. *Analizar el estado actual de los procesos de cambio y montaje:* Evaluar los tiempos de setup existentes, identificar actividades que contribuyen a demoras y cuantificar el impacto en la eficiencia productiva mediante mediciones directas y observaciones en el entorno de trabajo.
2. *Clasificar y separar actividades externas e internas:* Aplicar la primera fase de SMED para distinguir entre tareas realizadas con el equipo detenido (externas) y aquellas que pueden ejecutarse durante el ciclo productivo (internas), con el fin de optimizar la secuencia de operaciones.
3. *Convertir actividades externas en internas y simplificar procesos:* Desarrollar estrategias para transformar tareas externas en internas, eliminando o simplificando pasos innecesarios, y estandarizar procedimientos para reducir variabilidades y tiempos muertos.
4. *Implementar y validar la metodología SMED:* Ejecutar un plan de acción basado en las fases de SMED, incluyendo pruebas piloto y ajustes, para lograr reducciones significativas en los tiempos de cambio (objetivo: menos de 10 minutos) y medir mejoras en indicadores clave como el Overall Equipment Effectiveness (OEE).
5. *Evaluar los resultados y proponer recomendaciones:* Analizar los impactos cuantitativos y cualitativos de la implementación, comparar datos pre y post-

SMED, y elaborar guías para la sostenibilidad y replicación de la metodología en contextos similares, promoviendo una cultura de mejora continua.

2.3 HIPÓTESIS

Si se implementa la metodología SMED en el proceso de cambio de troquel de la prensa, entonces el tiempo de setup se reducirá considerablemente, lo que permitirá incrementar la disponibilidad del equipo y mejorar el rendimiento de la producción diaria.

2.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

ALCANCES DEL PROYECTO

- ✓ El proyecto se enfocará exclusivamente en la reducción del tiempo de montaje de herramientas en una o varias estaciones específicas del proceso productivo.
- ✓ Se llevará a cabo un análisis detallado para identificar la causa raíz de las demoras en el cambio de herramientas.
- ✓ Se diseñará e implementará una metodología estructurada de mejora, con acciones concretas y pasos definidos.
- ✓ El proyecto incluirá la participación del personal operativo y técnico, tanto en la etapa de diagnóstico como en la implementación de mejoras.
- ✓ Se realizará una evaluación comparativa antes y después de la implementación, con datos reales de tiempo de montaje.
- ✓ Se documentarán los resultados obtenidos y se propondrán acciones de mejora continua a partir de los hallazgos del proyecto.

LIMITACIONES DEL PROYECTO

- ✓ El proyecto no abordará otras áreas del proceso productivo, como tiempos de ciclo de operación, calidad del producto o eficiencia de maquinaria ajena al montaje de herramentales.
- ✓ La implementación se limitará a los recursos disponibles (humanos, técnicos y económicos) dentro del área de producción.
- ✓ El alcance temporal del proyecto restringe la posibilidad de realizar pruebas prolongadas o mejoras a largo plazo más allá de la etapa de implementación inmediata.
- ✓ Las mejoras propuestas estarán condicionadas por las capacidades técnicas de las máquinas y herramientas existentes; no se contempla la adquisición de nuevos equipos.

2.5 JUSTIFICACIÓN

La justificación de este estudio radica en la necesidad imperante de optimizar procesos productivos en entornos manufactureros caracterizados por altos volúmenes de producción y frecuentes cambios de herramientas, donde los tiempos de setup representan una fuente significativa de ineficiencia. En la industria actual, marcada por la globalización y la competencia feroz, los retrasos en los cambios de troqueles o moldes no solo incrementan los costos operativos, debido a paradas no productivas y mayor consumo de recursos, sino que también limitan la capacidad de respuesta a demandas variables, lo que puede resultar en pérdidas de mercado y reducción de la rentabilidad. Según estudios en Lean Manufacturing, los tiempos de cambio pueden representar hasta el 20-30% del tiempo total de producción en sectores como la fabricación de componentes metálicos, lo que subraya la urgencia de intervenciones efectivas.

La metodología SMED emerge como una solución probada y accesible para abordar este problema, ya que permite reducir drásticamente los tiempos de cambio a menos de 10 minutos mediante la reestructuración de actividades, minimizando desperdicios y promoviendo una mayor flexibilidad operativa. Su implementación no solo genera beneficios cuantitativos, como un aumento en la productividad y una disminución en los inventarios, sino que también fomenta una cultura de mejora continua, alineándose con principios de sostenibilidad y eficiencia energética en la era de la Industria 4.0. Además, la literatura especializada, incluyendo trabajos de Shigeo Shingo y aplicaciones en diversos contextos industriales, demuestra que SMED puede mejorar indicadores clave como el Overall Equipment Effectiveness (OEE) en un 10-20%, validando su potencial transformador.

La Eficacia General del Equipo (OEE, por sus siglas en inglés *Overall Equipment Effectiveness*) o traducido al español como: *Eficiencia General de Equipos*, es un indicador industrial clave que mide la productividad real de maquinaria o líneas de producción.

El OEE es el producto de tres factores:

1. % de disponibilidad:
 - a. Esto mide el porcentaje de tiempo de funcionamiento planificado que está disponible para la producción, teniendo en cuenta el mantenimiento no planificado, las reparaciones, los cambios, las interrupciones inesperadas y otras pérdidas por tiempo de inactividad.
2. % de rendimiento:
 - a. Esto mide la velocidad real de funcionamiento del equipo o la planta como un porcentaje de la velocidad de funcionamiento especificada, con la diferencia atribuida a pérdidas como ciclos lentos, inactividad e interrupciones menores.
3. % de calidad:
 - a. Esto mide el porcentaje del rendimiento real de la producción que cumple exactamente con las especificaciones del cliente y es correcto la primera vez, teniendo en cuenta los defectos y las pérdidas asociadas por desperdicios o retrabajo.

En este contexto, la aplicación de SMED permite:

- ✓ Reducir significativamente los tiempos de cambio de herramental.
- ✓ Minimizar los periodos de inactividad del equipo.
- ✓ Incrementar el tiempo operativo disponible para producción.
- ✓ Mejorar el porcentaje de Disponibilidad dentro del OEE.

Desde una perspectiva técnica, cada minuto recuperado en el set up se traduce en mayor capacidad instalada efectiva sin requerir inversión adicional en maquinaria. Desde una perspectiva económica, el incremento en la Disponibilidad impacta directamente en el volumen de producción, en el cumplimiento del programa y en la reducción del costo unitario.

Este estudio se justifica por su contribución práctica al campo de la ingeniería industrial, proporcionando evidencia empírica de la aplicabilidad de SMED en entornos específicos de fabricación, donde la falta de investigaciones locales limita la adopción de estas técnicas. Al abordar un problema real y medible, la tesis no solo busca validar la metodología en un escenario concreto, sino que también ofrece recomendaciones replicables para otras organizaciones, impulsando la innovación y la competitividad en la manufactura. En un contexto global donde la eficiencia es clave para la supervivencia empresarial, este trabajo responde a la demanda de soluciones lean que integren teoría y práctica, contribuyendo al avance del conocimiento y a la resolución de desafíos productivos contemporáneos.

CAPÍTULO III

3 MARCO TEÓRICO

El presente capítulo tiene como finalidad establecer el marco teórico y conceptual que sustenta el desarrollo del proyecto de mejora enfocado en la reducción de los tiempos de puesta a punto en el área de troquelado. Para ello, se analizan los principales fundamentos relacionados con la filosofía de mejora continua aplicada en entornos industriales, así como las herramientas metodológicas utilizadas para optimizar los procesos productivos. Este apartado permite comprender los conceptos, principios y enfoques que respaldan la aplicación de estrategias orientadas a incrementar la eficiencia operativa dentro de los sistemas de manufactura.

En primer lugar, se abordan los principios del enfoque de Lean Manufacturing, el cual se enfoca en la eliminación sistemática de desperdicios, la optimización del flujo de valor y la mejora continua de los procesos productivos. Dentro de este contexto, se analiza el origen de esta filosofía en el Toyota Production System, así como los principios fundamentales que orientan la gestión eficiente de los recursos en la industria. Estos conceptos permiten comprender la importancia de adoptar prácticas que favorezcan la reducción de tiempos improductivos, la estandarización de procesos y el incremento de la productividad.

Posteriormente, se presenta el origen, evolución y fundamentos de la metodología SMED, desarrollada por el ingeniero japonés Shigeo Shingo como parte de las estrategias del sistema de producción de Toyota. En esta sección se analizan los elementos que conforman esta metodología, sus etapas de implementación, los beneficios derivados de su aplicación y su relación con otros conceptos del pensamiento Lean, como la mejora continua y la producción Justo a Tiempo.

Finalmente, el capítulo presenta algunos casos de aplicación de estas metodologías en la industria, particularmente en sectores manufactureros como el automotriz y metalmecánico, donde la optimización de los tiempos de cambio de herramienta

representa un factor clave para mejorar la competitividad. El análisis de estas aplicaciones permite comprender cómo la implementación de herramientas de mejora continua contribuye a incrementar la flexibilidad productiva, optimizar el uso de los recursos y fortalecer el desempeño operativo de las organizaciones industriales, proporcionando así el sustento teórico para el desarrollo del presente proyecto.

3.1 LEAN MANUFACTURING: CONCEPTOS Y PRINCIPIOS

El enfoque de Lean Manufacturing es una filosofía de gestión orientada a la mejora continua de los procesos productivos mediante la eliminación sistemática de desperdicios y la optimización del flujo de valor dentro de la organización. Este modelo tiene su origen en el Toyota Production System, desarrollado por la empresa Toyota, y se basa en principios como la creación de valor para el cliente, la reducción de actividades que no agregan valor, la mejora continua (kaizen) y el respeto por las personas dentro del sistema productivo. Lean Manufacturing promueve el uso eficiente de recursos, la estandarización de procesos y la implementación de herramientas que permitan incrementar la productividad, mejorar la calidad y reducir los tiempos de producción. De acuerdo con James P. Womack y Daniel T. Jones (2003), los principios fundamentales de Lean incluyen identificar el valor desde la perspectiva del cliente, mapear el flujo de valor, crear flujo continuo, establecer sistemas de producción bajo demanda y buscar la perfección mediante la mejora continua.

3.2 HISTORIA Y ORIGEN DEL SMED (SHIGEO SHINGO)

La historia de la mejora de procesos productivos está marcada por una constante necesidad de eficiencia, adaptabilidad y reducción de desperdicios. Dentro de este contexto, la metodología SMED (Single-Minute Exchange of Die) emerge como una respuesta revolucionaria a los largos tiempos de cambio de herramientas que

afectaban la competitividad y la flexibilidad de las empresas manufactureras, particularmente en el entorno japonés de la posguerra.

A mediados del siglo XX, Japón enfrentaba grandes desafíos económicos y de infraestructura, producto de la devastación causada por la Segunda Guerra Mundial. Las empresas, especialmente las manufactureras, debían competir con grandes productores estadounidenses y europeos, a pesar de contar con recursos limitados. En este entorno se consolidó el desarrollo del Sistema de Producción de Toyota (Toyota Production System, TPS), orientado a la eliminación de desperdicios y a la producción eficiente en pequeños lotes (Ohno, 1988).

Toyota no podía permitirse los lujos de producción masiva con grandes inventarios o enormes líneas de montaje especializadas. Necesitaba un sistema que le permitiera producir distintos modelos de vehículos con bajos volúmenes, alta calidad y tiempos de entrega reducidos. Fue así como, a lo largo de las décadas de 1940 y 1950, se comenzó a desarrollar el Toyota Production System (TPS), también conocido como el sistema de producción justo a tiempo (*Just-In-Time*), cuyo principio central es producir únicamente lo necesario, en la cantidad necesaria y en el momento necesario (Ohno, 1988).

Uno de los problemas recurrentes que enfrentaban en Toyota era la ineficiencia durante los cambios de molde y herramientas, especialmente en las prensas utilizadas para la fabricación de carrocerías. Estos cambios podían tardar horas, y durante ese tiempo las máquinas permanecían inactivas, generando pérdida de productividad, acumulación de trabajo en proceso y dificultades para producir múltiples modelos en la misma línea.

Fue en este contexto donde Shigeo Shingo, ingeniero industrial japonés y consultor de Toyota, analizó detalladamente el proceso de cambio de herramientas. Shingo identificó que muchas actividades realizadas durante el tiempo de máquina detenida podían ejecutarse mientras la máquina aún estaba operando. A partir de esta observación, desarrolló una metodología sistemática para separar actividades

internas (realizadas con la máquina detenida) y externas (realizadas con la máquina en funcionamiento), reduciendo significativamente los tiempos de preparación (Shingo, 1985).

A partir de este análisis, Shingo propuso un enfoque sistemático para reducir estos tiempos, desarrollando una metodología estructurada que más tarde se conocería como SMED. La expresión *Single-Minute* hace referencia a que el objetivo es lograr cambios en menos de 10 minutos, aunque no implica literalmente hacerlo en un solo minuto. Más bien, se refiere al cambio de formato dentro de un dígito de minutos, es decir, entre 1 y 9.

El impacto de esta metodología fue inmediato. En algunas plantas de Toyota, los cambios que antes tomaban entre una y dos horas se redujeron a menos de 10 minutos. Esto permitió aumentar la productividad, reducir los lotes de producción, minimizar inventarios y, sobre todo, incrementar la capacidad de respuesta a la demanda del cliente. Este enfoque fue tan exitoso que se convirtió en una piedra angular de Lean Manufacturing, siendo replicado más tarde por empresas de todo el mundo.

En palabras de Shingo, el éxito del SMED radica en su simplicidad conceptual y su enfoque práctico: “Si puedes separar el pensamiento de la acción y observar objetivamente cada tarea, puedes encontrar formas de mejorar cualquier proceso”.

El impacto del SMED fue significativo, ya que permitió disminuir tamaños de lote, reducir inventarios en proceso y mejorar la capacidad de respuesta al cliente. Estas mejoras consolidaron al SMED como uno de los pilares fundamentales del pensamiento Lean y del Sistema de Producción de Toyota (Liker, 2004).

Además, el SMED se encuentra estrechamente vinculado con otros conceptos del sistema Lean, como Kaizen (mejora continua), Just-In-Time y Poka-Yoke, formando parte integral de una estrategia organizacional orientada a la excelencia operacional (Liker, 2004).

CONCEPTO, ELEMENTOS Y OBJETIVO DE LA METODOLOGÍA SMED

1. Uso de herramientas específicas

El SMED puede implicar la introducción de mecanismos o dispositivos que faciliten cambios rápidos, como:

- ✓ Guías automáticas
- ✓ Sistemas de sujeción rápida
- ✓ Herramientas preajustadas
- ✓ Dispositivos modulares o intercambiables

Estas mejoras técnicas permiten reducir ajustes manuales prolongados y aumentar la repetibilidad del proceso (Shingo, 1985).

2. Los objetivos generales de SMED son:

- ✓ Reducir el tiempo de preparación de máquinas.
- ✓ Minimizar tiempos de inactividad.
- ✓ Aumentar la productividad.
- ✓ Mejorar la flexibilidad del sistema de producción.
- ✓ Reducir el tamaño de los lotes de producción.
- ✓ Mejorar la eficiencia global del sistema productivo.
- ✓ Facilitar la implementación de la producción Justo a Tiempo (JIT).
- ✓ Fomentar una cultura de mejora continua.

De acuerdo con Ohno (1988), la reducción de tiempos de preparación es un requisito indispensable para operar con lotes pequeños y producir únicamente lo que el cliente demanda en el momento preciso.

Gracias al SMED, las organizaciones pueden adaptar rápidamente sus líneas de producción, reducir desperdicios, disminuir inventarios y mejorar su capacidad de respuesta ante cambios en la demanda, fortaleciendo así su competitividad en entornos dinámicos (Liker, 2004).

VENTAJAS Y BENEFICIOS DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SMED

Tradicionalmente, el cambio de troqueles o herramientas en procesos industriales puede tardar entre 30 minutos y varias horas, lo que representa una pérdida directa en disponibilidad de máquina y eficiencia operativa. La metodología SMED surge precisamente para reducir estos tiempos mediante un enfoque estructurado basado en la separación, análisis y optimización de actividades (Shingo, 1985). SMED permite:

- ✓ Dividir el cambio en tareas internas y externas.
- ✓ Estandarizar y optimizar cada paso.
- ✓ Eliminar tareas innecesarias o redundantes.
- ✓ Usar tecnología de sujeción rápida y herramientas preconfiguradas.

Cuando estas acciones se implementan correctamente, los tiempos de cambio pueden reducirse a menos de diez minutos, generando mejoras sustanciales en eficiencia y flexibilidad (Shingo, 1985).

1. Mayor flexibilidad en la producción

Cuando el tiempo de cambio es elevado, las empresas tienden a fabricar grandes lotes para minimizar la frecuencia de cambios. Sin embargo, esto genera:

- ✓ Altos niveles de inventario.
- ✓ Desperdicios por productos obsoletos.
- ✓ Baja capacidad de reacción ante cambios del mercado.

SMED permite fabricar lotes más pequeños, adaptar la producción en tiempo real y mantener bajos niveles de inventario.

La reducción de tiempos de preparación permite trabajar con lotes más pequeños y producir únicamente lo necesario, en el momento necesario, principio fundamental del Just-In-Time (Ohno, 1988). De esta manera, SMED incrementa la flexibilidad productiva y mejora la adaptación a la demanda.

2. Incremento en la productividad

Al reducir los tiempos de inactividad, la maquinaria produce durante más tiempo. Además, los operarios están mejor organizados, los procedimientos están optimizados y las pérdidas por errores o retrabajos disminuyen. De acuerdo con Liker (2004), la eliminación sistemática de desperdicios impacta directamente en la eficiencia global del sistema productivo.

Este aumento de productividad se refleja en:

- ✓ Mayor número de unidades producidas por hora.
- ✓ Mayor utilización del tiempo de máquina.
- ✓ Mejor uso del tiempo de los trabajadores.

3. Reducción de tiempos de inactividad.

El SMED se alinea con los principios del Lean Manufacturing, particularmente en la eliminación de desperdicios. Se reducen:

- ✓ Desperdicios por espera.
- ✓ Desperdicios por inventarios excesivos.
- ✓ Movimientos innecesarios.
- ✓ Sobre procesos.

Esto resultará en una notable reducción del tiempo muerto de las máquinas, lo que aumentará el tiempo de operación efectiva y mejorará la productividad de la planta. Además, se logrará una mejor utilización de los recursos y la capacidad de la maquinaria.

4. Mejora en la calidad y estandarización de los procesos

La calidad del proceso mejora al reducir la variabilidad en los tiempos de cambio, lo que resulta en un proceso más consistente y controlado. Además, la estandarización facilita la capacitación de nuevos empleados y asegura que todos

los operadores sigan las mismas “buenas” prácticas. Según Liker (2004), el trabajo estandarizado constituye la base para la mejora continua, ya que establece un punto de referencia claro desde el cual pueden realizarse optimizaciones adicionales.

5. Reducción de los costos operativos

Al minimizar el tiempo de inactividad y optimizar las actividades de cambio, se reduce la necesidad de mantener altos niveles de inventario para compensar los largos tiempos de inactividad. También se disminuye el uso innecesario de recursos, como el tiempo que los operadores pasan buscando herramientas.

Los costos operativos se reducirán de manera significativa, tanto por la optimización de la producción como por la eliminación de desperdicios relacionados con la búsqueda y la espera de piezas y herramientas. Esto también contribuye a una mayor eficiencia en la gestión de recursos.

Shingo (1985) señala que la reducción de tiempos de preparación no solo mejora la productividad, sino que impacta directamente en la rentabilidad al disminuir costos ocultos del proceso.

6. Mejor uso del tiempo de los operadores

Al implementar la metodología SMED, las actividades que normalmente se llevan a cabo durante el tiempo de inactividad, como buscar herramientas o hacer ajustes, pueden transformarse en actividades externas.

Los operadores estarán más ocupados realizando tareas productivas en lugar de perder tiempo buscando recursos, permitiendo un trabajo más enfocado y productivo.

La correcta asignación de actividades reduce la improvisación y mejora la coordinación operativa (Liker, 2004).

7. Mejora continua del proceso (Kaizen)

SMED promueve una cultura de mejora continua al centrarse en eliminar desperdicios y optimizar los tiempos de cambio. Esto se alinea perfectamente con los principios de Kaizen, que buscan mejorar los procesos de manera constante y gradual.

Con la implementación de la metodología SMED, la empresa puede cultivar una cultura organizacional donde todos los miembros del equipo estén comprometidos con la mejora continua de los procesos, lo que resulta en mejoras sostenibles y un rendimiento a largo plazo.

8. Aumento de la capacidad de producción

La reducción de los tiempos de cambio permite que las máquinas estén en funcionamiento por más tiempo, lo que incrementa la capacidad de producción sin necesidad de invertir en nueva maquinaria.

Se optimiza la capacidad de la planta y se aumenta la producción sin incrementar los costos. Esto se traduce en una mayor rentabilidad para la empresa, ya que se aprovecha mejor la infraestructura existente.

Ohno (1988) enfatiza que la eficiencia operativa debe buscarse primero mediante la optimización de procesos antes de considerar ampliaciones de infraestructura.

9. Un mejor seguimiento y control de los tiempos de cambio.

Al implementar SMED, se lleva a cabo una medición y análisis minucioso de los tiempos de cambio y de las actividades que forman parte de cada proceso. Esto ayuda a detectar cuellos de botella y áreas donde se puede mejorar.

Se logra un control más exacto sobre el proceso de cambio, lo que permite identificar oportunidades para seguir acortando tiempos y aumentar la eficiencia. Esto resulta en una gestión más informada y estratégica del proceso de producción.

Un control sistemático del proceso permite una gestión más estratégica y basada en datos, fortaleciendo la toma de decisiones en el entorno productivo (Shingo, 1985).

3.3 FUNDAMENTOS DEL SMED

Los fundamentos de la metodología SMED se centran en la reducción sistemática de los tiempos de preparación o cambio de herramienta en los equipos de producción, con el objetivo de incrementar la disponibilidad de las máquinas y mejorar la flexibilidad del sistema productivo. Esta metodología fue desarrollada por el ingeniero japonés Shigeo Shingo dentro del Toyota Production System en la empresa Toyota, y propone disminuir los tiempos de cambio de troquel a menos de diez minutos mediante la identificación y optimización de las actividades que se realizan durante el setup. Los fundamentos del SMED se basan principalmente en la separación de las actividades internas y externas del cambio de herramienta, la conversión de actividades internas en externas siempre que sea posible, y la simplificación y estandarización de las operaciones de ajuste. La aplicación de estos principios permite reducir tiempos muertos, mejorar la productividad, facilitar la producción en lotes más pequeños y aumentar la eficiencia general de los procesos de manufactura.

3.4 ETAPAS DEL SMED

El método SMED está estructurado en una serie de etapas sistemáticas orientadas a lograr una reducción progresiva y sostenible de los tiempos de cambio. De acuerdo con Shingo (1985), la clave del éxito de esta metodología radica en su aplicación disciplinada y en la observación detallada de cada actividad que compone el proceso de preparación.

Las principales etapas de la metodología son las siguientes:

A. Separación de actividades internas y externas

- ✓ Actividades internas: aquellas que solo pueden realizarse con la máquina detenida (por ejemplo, quitar un molde usado).
- ✓ Actividades externas: tareas que pueden hacerse con la máquina funcionando (como preparar herramientas, leer instrucciones o traer el nuevo molde).

Según Shingo (1985), esta diferenciación constituye el fundamento del SMED, ya que permite identificar oportunidades inmediatas de mejora. La conversión de actividades internas en externas reduce significativamente el tiempo de inactividad de la máquina, impactando directamente en la productividad.

B. Convertir actividades internas en externas

Shingo (1985) enfatiza que esta etapa representa el mayor potencial de reducción del tiempo de preparación, ya que elimina actividades innecesariamente realizadas con la máquina detenida.

Una vez que se identifican correctamente las tareas internas y externas, se debe trabajar para trasladar las internas a momentos en que la máquina esté operando. Esto implica rediseñar procesos, preparar materiales y herramientas con anticipación y capacitar al personal.

C. Optimizar ambas

Todo el proceso de cambio debe analizarse detenidamente. A través de la observación directa (por ejemplo, grabaciones de video), se identifican movimientos innecesarios, desplazamientos largos, tareas repetidas o errores que puedan ser eliminados. El resultado es una secuencia de pasos más simple, clara y estandarizada.

El objetivo es establecer una secuencia de pasos clara, optimizada y documentada. Como señala Liker (2004), la estandarización es un pilar fundamental del pensamiento Lean, ya que proporciona estabilidad al proceso y facilita la mejora continua.

3.5 INDICADORES CLAVE DEL PROCESO

Para evaluar el desempeño del proceso productivo dentro del área de troquelado y medir el impacto de las mejoras implementadas en el proyecto, se utilizaron indicadores clave de desempeño (KPI) que permiten analizar la eficiencia operativa, la disponibilidad de los equipos y el aprovechamiento del tiempo de producción. Estos indicadores facilitan la toma de decisiones y permiten identificar oportunidades de mejora dentro del proceso.

Uno de los indicadores principales es el OEE, el cual se utiliza ampliamente en entornos de manufactura para medir la efectividad global de los equipos. Este indicador integra tres variables fundamentales: la disponibilidad del equipo, el rendimiento o desempeño de producción y la calidad del producto obtenido. A través del análisis del OEE es posible identificar pérdidas asociadas a paros de máquina, tiempos improductivos, reducción de velocidad de operación o generación de piezas defectuosas, lo que permite establecer estrategias para mejorar el rendimiento general del proceso.

Otro indicador relevante dentro del proyecto es el tiempo de setup o tiempo de preparación, el cual corresponde al periodo necesario para realizar el cambio de herramental y ajustar la máquina antes de iniciar una nueva orden de producción. Este indicador es particularmente importante en procesos de troquelado, ya que un tiempo de setup elevado genera paros prolongados en la producción y reduce la disponibilidad de los equipos. En este sentido, la reducción del tiempo de setup se relaciona directamente con la aplicación de metodologías de mejora como SMED, cuyo objetivo es optimizar y estandarizar las actividades de cambio de herramienta para disminuir los tiempos de preparación.

Asimismo, se consideró el tiempo de ciclo, el cual representa el tiempo total requerido para fabricar una unidad de producto dentro del proceso

productivo. Este indicador permite evaluar la velocidad de operación del sistema de manufactura y determinar la capacidad productiva de la línea o equipo de trabajo. El análisis del tiempo de ciclo resulta fundamental para identificar cuellos de botella, actividades innecesarias o desperdicios dentro del proceso, permitiendo así implementar mejoras orientadas a incrementar la eficiencia operativa.

En conjunto, el análisis del OEE, el tiempo de setup y el tiempo de ciclo proporciona una visión integral del desempeño del proceso de troquelado, permitiendo medir el impacto de las acciones de mejora implementadas en el proyecto y establecer bases para la optimización continua de los procesos productivos dentro de la empresa.

3.6 CASOS DE APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA

En la industria manufacturera, particularmente en el sector metalmecánico y automotriz, la implementación de metodologías de mejora continua ha demostrado ser una estrategia eficaz para incrementar la productividad, reducir desperdicios y optimizar los procesos productivos. Diversos estudios han documentado la aplicación de herramientas de mejora enfocadas en la reducción de tiempos de preparación de máquinas y en la mejora de la eficiencia operativa.

De manera complementaria, diversos estudios sobre Lean Manufacturing han documentado que la aplicación de principios de manufactura esbelta en entornos industriales permite identificar y eliminar actividades que no agregan valor dentro del proceso productivo. Según James P. Womack y Daniel T. Jones, la adopción de estas prácticas contribuye a mejorar el flujo de producción, reducir tiempos improductivos y optimizar el uso de los recursos dentro de las organizaciones manufactureras (Womack & Jones, 2003).

Asimismo, la aplicación de herramientas de organización del lugar de trabajo, como la metodología 5's, ha sido ampliamente estudiada en la literatura industrial. Esta metodología se centra en la clasificación, orden, limpieza, estandarización y disciplina dentro del área de trabajo, lo cual permite mejorar la eficiencia operativa y reducir tiempos asociados a la búsqueda de herramientas o materiales. Según Hiroyuki Hirano, la implementación de las 5's contribuye significativamente a la estandarización de los procesos y a la creación de entornos de trabajo más organizados, seguros y productivos (Hirano, 1996).

Por otra parte, varios estudios han utilizado indicadores de desempeño para evaluar el impacto de estas mejoras dentro de la industria, destacando el uso del OEE como una métrica clave para medir la eficiencia global de los equipos. Este indicador integra factores de disponibilidad, rendimiento y calidad, permitiendo identificar pérdidas operativas dentro del sistema de producción. De acuerdo con Seiichi Nakajima, el análisis del OEE facilita la identificación de las principales causas de ineficiencia en los equipos, lo cual permite desarrollar estrategias enfocadas en la mejora del desempeño productivo (Nakajima, 1988).

En conjunto, estos estudios demuestran que la aplicación de herramientas de mejora continua dentro de los procesos de manufactura permite reducir tiempos de preparación, optimizar el uso de los recursos y mejorar significativamente la eficiencia operativa de las empresas industriales, lo cual respalda la implementación de estas metodologías dentro del presente proyecto de mejora en el área de troquelado.

CAPÍTULO IV

4 DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA

El presente capítulo tiene como objetivo describir el contexto operativo de la empresa y la situación actual del proceso productivo en el área de troquelado, con la finalidad de comprender el entorno en el que se desarrolla el proyecto de mejora. Para ello, se analizan aspectos relevantes de la organización, como su modelo de negocio, estructura operativa, filosofía empresarial y los principales procesos que conforman su sistema de producción. Este análisis permite identificar las condiciones bajo las cuales se llevan a cabo las actividades productivas y establecer el marco organizacional necesario para el desarrollo del estudio.

posteriormente, se describe el proceso productivo actual y el área específica de estudio, enfocándose en las actividades de montaje y cambio de herramientas dentro del área de troquelado. A partir del análisis del proceso, se identifican las principales ineficiencias relacionadas con la falta de estandarización en la puesta a punto, los tiempos prolongados de preparación y la presencia de desperdicios operativos. Para comprender mejor estas condiciones, se presentan herramientas de diagnóstico como el levantamiento de tiempos, diagramas de flujo del proceso y la identificación de desperdicios bajo los principios de Lean Manufacturing.

Finalmente, el capítulo desarrolla el diagnóstico de la situación actual y la problemática específica detectada, en la cual se evidencia que los tiempos excesivos de preparación en el cambio de troquel afectan directamente la disponibilidad de los equipos y el desempeño del proceso productivo. En este contexto, se justifica la necesidad de implementar herramientas de mejora continua como la metodología SMED, orientadas a optimizar las actividades de puesta a punto, reducir tiempos muertos y mejorar indicadores clave de desempeño como la Overall Equipment Effectiveness. De esta manera, el capítulo establece las bases para el análisis y desarrollo de las estrategias de mejora propuestas en el proyecto.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO ACTUAL

El análisis del proceso de montaje de herramientas en el área de troquelado permitió identificar que actualmente las actividades de puesta a punto se realizan de forma manual y sin una estandarización definida, lo que genera tiempos prolongados durante el cambio entre lotes de producción o entre diferentes piezas. Este procedimiento depende en gran medida de la experiencia de los operadores, quienes deben detener la maquinaria para desmontar el troquel anterior, instalar el nuevo herramental y realizar ajustes y verificaciones de manera empírica, lo cual incrementa el tiempo de máquina detenida y reduce la eficiencia del proceso.

Durante el diagnóstico también se detectó que varias actividades que podrían realizarse antes del paro de la máquina o mientras esta se encuentra en operación se ejecutan actualmente cuando el equipo ya está detenido, provocando tiempos improductivos adicionales. Asimismo, el proceso se gestiona bajo un enfoque reactivo, atendiendo las necesidades de montaje conforme surgen, en lugar de contar con procedimientos preventivos y estandarizados orientados a la mejora continua.

Como parte del desarrollo del proyecto enfocado en la reducción de tiempos de preparación mediante la metodología SMED, se llevó a cabo un levantamiento detallado de todas las actividades involucradas en el cambio de troquel. A través de este análisis se registraron los tiempos de inicio y término de cada operación, permitiendo obtener una tabla de tiempos de puesta a punto que sirve como base para identificar la duración real de cada actividad, detectar tiempos muertos y clasificar las operaciones en internas y externas.

De manera complementaria, se elaboró un diagrama de flujo del proceso, en el cual se visualizan tanto las actividades operativas como las administrativas relacionadas con la puesta a punto. Dentro de este flujo se incluyen acciones como la identificación de la orden de producción, la generación de documentación cuando

se trata de un nuevo proyecto y la validación de la información correspondiente cuando la orden ya se encuentra en proceso. Asimismo, se identifican puntos de decisión que pueden detener el proceso, relacionados con las condiciones de la materia prima, la disponibilidad de la maquinaria o el estado del troquel.

Finalmente, el proceso contempla la participación del departamento de calidad, el cual es responsable de validar que las especificaciones de la pieza cumplan con los requisitos establecidos antes de autorizar el inicio de la producción. En conjunto, este análisis permitió comprender de manera integral el flujo actual del proceso de puesta a punto e identificar áreas de oportunidad para la optimización de los tiempos de cambio de herramental.

4.2 IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El presente proyecto de mejora se desarrolla en el área de troquelado de la empresa, específicamente en la línea de producción donde se llevan a cabo los procesos de conformado de piezas metálicas mediante prensas mecánicas y el uso de troqueles especializados. Esta área constituye una de las etapas más importantes dentro del proceso productivo, ya que en ella se realiza la transformación de la materia prima metálica en las piezas requeridas por los clientes.

Dentro de esta área se seleccionó como objeto de estudio la prensa utilizada para la producción de piezas troqueladas que requiere cambios frecuentes de herramental, debido a que durante el análisis preliminar se detectó que el tiempo de preparación o cambio de troquel (setup) representa una de las principales fuentes de pérdida de tiempo productivo. Cada vez que se requiere producir una pieza diferente, es necesario realizar un proceso de desmontaje del troquel anterior, montaje del nuevo herramental, ajustes de alineación, calibración y pruebas iniciales antes de iniciar la producción.

Estas actividades generan tiempos muertos en la operación de la máquina, lo que impacta directamente en la disponibilidad del equipo y en el desempeño del proceso productivo. Por esta razón, el análisis del proyecto se enfoca en la optimización del proceso de puesta a punto en la prensa de troquelado, con el objetivo de reducir el tiempo requerido para realizar los cambios de herramental y mejorar la eficiencia operativa del área.

Para evaluar el desempeño de la línea y medir el impacto de las mejoras propuestas, se consideran indicadores clave como el OEE, el tiempo de setup y el tiempo de ciclo, los cuales permiten analizar la disponibilidad del equipo, la eficiencia del proceso y la capacidad productiva de la máquina. Asimismo, el análisis del proceso de cambio de troquel se apoya en la aplicación de herramientas de mejora continua como la metodología SMED, la cual se enfoca en la reducción de los tiempos de preparación mediante la identificación, clasificación y optimización de las actividades involucradas en el proceso.

De esta manera, la identificación de la línea y del equipo de estudio permite delimitar el alcance del proyecto y centrar el análisis en las actividades que generan mayor impacto en la eficiencia del proceso productivo dentro del área de troquelado.

4.3 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Actualmente, el proceso de montaje de herramientas dentro del área productiva se lleva a cabo de forma manual y no estandarizada, lo que genera tiempos prolongados de cambio entre lotes de producción o entre diferentes productos. Este proceso requiere la intervención directa de los operadores, quienes deben detener la maquinaria para desmontar el herramental anterior y montar el nuevo, realizando ajustes y verificaciones de forma empírica, muchas veces sin una secuencia claramente definida.

Asimismo, se han identificado actividades que podrían ejecutarse con la máquina en operación o previo al paro, pero que actualmente se realizan durante el tiempo de máquina detenida, incrementando el tiempo improductivo.

Como parte del desarrollo del proyecto de mejora enfocado en la reducción de tiempos de preparación bajo la metodología SMED, se realizó un levantamiento detallado de las actividades involucradas en el cambio de troquel en prensa. El objetivo de este análisis es identificar, medir y clasificar cada una de las operaciones que componen el proceso de puesta a punto, determinando su duración real y detectando oportunidades de optimización.

La Tabla 1 “Tiempos de puesta a punto”, presenta el desglose cronológico de las actividades ejecutadas durante el cambio de herramental, considerando hora de inicio, hora de término y minutos empleados. Este registro permite visualizar las secuencias del proceso, identificar tiempos muertos o improductivos y establecer una base cuantitativa para la posterior separación de actividades internas y externas, así como para la propuesta de mejoras orientadas a la reducción del tiempo total de setup.

Tabla 1 Tabla de tiempos de puesta a punto. Fuente: Elaboración propia.

Tabla de tiempos "puesta a punto"			
ACTIVIDAD	HORA INICIO	HORA FIN	MINUTOS EMPLEADOS
Buscar y llevar a prensa llaves españolas	07:20	07:30	00:10
Buscar y llevar a prensa amarres ¹	07:30	07:40	00:10
Buscar y llevar a prensa documentación de la pieza a producir	07:40	08:00	00:20
Buscar y llevar a prensa barras paralelas ²	08:00	08:20	00:20
Desamarrar y bajar troquel actual	08:20	08:25	00:05
Esperar a que lleven el siguiente troquel	08:25	09:00	00:35
Subir, alinear y amarrar el nuevo troquel	09:00	09:20	00:20
Buscar y llevar a prensa MP o fase anterior	09:20	09:35	00:15
Calibrar presión de troquelado	09:35	09:45	00:10
Liberar primer pieza	09:45	10:20	00:35
	TOTAL		03:00

4.4 IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE DESPERDICIOS

Como parte del diagnóstico del proceso de puesta a punto en el área de troquelado, se realizó un análisis orientado a identificar las principales fuentes de desperdicio que afectan la eficiencia del proceso de cambio de herramental. En los sistemas de manufactura, los desperdicios representan todas aquellas actividades que consumen recursos o tiempo sin generar valor directo para el cliente. Bajo los principios de Lean Manufacturing, la identificación de estas pérdidas permite comprender las ineficiencias del proceso y establecer oportunidades de mejora. Durante el análisis del proceso actual se detectaron diversos tipos de desperdicio relacionados con tiempos de espera, movimientos innecesarios, transporte de herramientas, actividades redundantes y paros prolongados de máquina durante la preparación. Estos elementos afectan directamente la productividad del área, por lo que su identificación constituye un paso fundamental para proponer mejoras mediante la aplicación de herramientas de optimización como SMED, orientadas a reducir los tiempos de preparación y mejorar la eficiencia operativa.

1. Tiempos de espera

- a. Como se muestra en la Imagen 5 “Tiempo de espera a que llegue el troquel”, se presentan cuando el operador debe esperar a que llegue el siguiente troquel, herramientas o documentación necesaria para realizar el cambio de producción.



Imagen 5 Tiempo de espera a que llegue el troquel. Fuente: Elaboración propia.

2. Movimientos innecesarios

- a. Como se muestra en la Imagen 6 “Tiempo muerto por búsqueda de amarres”, ocurren cuando el operador debe desplazarse constantemente para buscar herramientas, amarres, llaves o accesorios necesarios para realizar el montaje del troquel.



Imagen 6 Tiempo muerto por búsqueda de amarres. Fuente: Elaboración propia.

3. Procesos innecesarios

- a. Se presentan cuando se realizan ajustes repetitivos o como se muestra en la Imagen 7 “Verificaciones adicionales”, son las verificaciones adicionales que podrían evitarse mediante estandarización del procedimiento de montaje.



Imagen 7 Verificaciones adicionales. Fuente: Elaboración propia.

4. Tiempo excesivo de preparación

- a. El tiempo requerido para desmontar el troquel anterior, preparar el nuevo y realizar los ajustes necesarios genera paros prolongados de la máquina.

5. Falta de organización del área de trabajo

- a. Como se muestra en la Imagen 8 “Falta de orden y limpieza en la prensa”, provoca pérdidas de tiempo al momento de organizar el área de trabajo.



Imagen 8 Falta de orden y limpieza en la prensa. Fuente: Elaboración propia.

6. Paros de máquina durante la preparación
 - a. Muchas actividades que podrían realizarse con la máquina en funcionamiento se llevan a cabo con la máquina detenida, generando pérdida de disponibilidad del equipo.

Según Taiichi Ohno, estos desperdicios forman parte de las pérdidas que deben eliminarse dentro del sistema de Toyota Production System, mientras que Shigeo Shingo propone que herramientas como el SMED permiten reducir principalmente los desperdicios relacionados con tiempos de espera y actividades innecesarias durante el cambio de herramienta.

4.5 PROBLEMÁTICA ESPECÍFICA DETECTADA

Durante el análisis del proceso productivo en el área de prensas, se identificó como problemática principal el tiempo excesivo de preparación o cambio de troquel (setup), el cual genera paros prolongados en la maquinaria y afecta la continuidad del flujo de producción. Este tiempo incluye diversas actividades como la búsqueda

de herramientas, el traslado de troqueles, la colocación y ajuste del nuevo troquel, así como las verificaciones necesarias antes de reiniciar la operación. Debido a la falta de estandarización en el procedimiento de cambio de herramienta y a la realización de múltiples actividades con la máquina detenida, el tiempo de setup se incrementa considerablemente, ocasionando pérdidas en la eficiencia del proceso y disminuyendo la disponibilidad del equipo.

Según Shigeo Shingo, los tiempos prolongados de preparación representan una de las principales fuentes de desperdicio dentro de los sistemas de manufactura, ya que durante este periodo los equipos permanecen inactivos y no generan valor en la producción. De acuerdo con Jeffrey K. Liker, la reducción de estos tiempos es fundamental para mejorar la flexibilidad del sistema productivo y aumentar la capacidad de respuesta ante cambios en la demanda.

Esta situación impacta directamente en indicadores clave de desempeño (Key Performance Indicators, KPI) relacionados con la eficiencia operativa del proceso productivo, principalmente la productividad, el tiempo muerto y el tiempo de utilización del personal.

La productividad del área se determina mediante la relación entre la cantidad de piezas producidas y el tiempo total disponible de producción dentro de la jornada laboral. Este indicador permite evaluar la capacidad del sistema productivo para transformar el tiempo de trabajo en unidades terminadas.

Matemáticamente, la productividad se obtiene mediante la siguiente expresión:

Ecuación 1 Productividad

$$Productividad = \frac{Piezas\ producidas}{Tiempo\ total\ disponible}$$

Donde:

- Piezas producidas corresponde al número total de unidades terminadas durante el periodo de estudio.
- Tiempo total disponible corresponde al tiempo total programado para producción durante la jornada laboral.

Por otro lado, el tiempo muerto corresponde al periodo durante el cual los recursos productivos, tanto maquinaria como personal, permanecen sin generar valor dentro del proceso debido a actividades de preparación, ajustes o esperas entre operaciones. Este indicador se obtiene mediante la medición directa de los tiempos en los que el equipo se encuentra detenido durante el proceso de setup o cambio de modelo.

Su cálculo puede expresarse como:

Ecuación 2 Tiempo muerto

$$\textit{Tiempo muerto} = \textit{Tiempo total disponible} - \textit{Tiempo efectivo de operación}$$

Donde:

- Tiempo total disponible es el tiempo total programado de trabajo.
- Tiempo efectivo de operación corresponde al tiempo en el que la máquina se encuentra produciendo piezas.

Finalmente, el tiempo de utilización del personal permite evaluar el grado de aprovechamiento del recurso humano dentro del proceso productivo, identificando cuánto del tiempo disponible del operador se dedica realmente a actividades que generan valor.

Este indicador se calcula mediante la siguiente relación:

Ecuación 3 Porcentaje Utilización del personal

$$\% \text{ Utilización del personal} = \frac{\text{Tiempo efectivo de trabajo}}{\text{Tiempo total disponible}} * 100$$

Donde:

- Tiempo efectivo de trabajo corresponde al tiempo en el que el operador realiza actividades directamente relacionadas con la producción.
- Tiempo total disponible corresponde a la duración total de la jornada laboral del operador.

Los tiempos prolongados de preparación y ajuste de maquinaria afectan directamente estos indicadores, ya que incrementan los periodos de inactividad del sistema productivo, reducen la productividad del área y disminuyen el nivel de aprovechamiento del personal.

CAPÍTULO V

5 IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA SMED

El presente capítulo describe el desarrollo de la metodología utilizada para el proyecto de mejora, la cual permite estructurar el proceso de investigación y establecer los procedimientos empleados para analizar la problemática detectada en el área de troquelado de la empresa. En este apartado se definen el enfoque, el tipo de investigación y el diseño metodológico adoptado, así como las técnicas y herramientas utilizadas para la recopilación y análisis de la información necesaria para el estudio.

En primer lugar, se presenta el tipo y diseño de la investigación, destacando la adopción de un enfoque cuantitativo orientado al análisis de datos numéricos relacionados con los tiempos de montaje de troqueles. Este enfoque permite evaluar de manera objetiva el desempeño del proceso productivo y medir el impacto de las mejoras propuestas. Asimismo, se establece que la investigación es de carácter aplicado y con un diseño no experimental, ya que el estudio se desarrolla en el entorno real de trabajo sin manipulación deliberada de las variables, analizando los procesos tal como ocurren dentro de la operación diaria de la empresa.

5.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación adopta un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos relacionados con los tiempos de montaje de troqueles. Este enfoque permite evaluar de forma objetiva el comportamiento actual del proceso y los efectos de la aplicación de mejoras. De acuerdo con Hernández Sampieri y Mendoza Torres (2018), el enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer patrones de comportamiento y comprobar teorías.

TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se trata de una investigación aplicada, ya que su finalidad es resolver un problema concreto dentro del entorno industrial: la ineficiencia en el proceso de montaje de troqueles. A través de herramientas de mejora continua, se busca obtener resultados prácticos que puedan ser implementados y sostenidos en el tiempo. Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2014), la investigación aplicada tiene como propósito resolver problemas prácticos y generar conocimiento con utilidad directa en un contexto específico.

DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño es no experimental, ya que no se realiza intervención directa sobre las variables bajo condiciones controladas. En cambio, se analizan los procesos tal como se desarrollan en el entorno real de trabajo, permitiendo obtener información verídica y útil para proponer mejoras viables. Hernández Sampieri y Mendoza Torres (2018) señalan que en los estudios no experimentales las variables no se manipulan deliberadamente, sino que se observan en su ambiente natural para posteriormente analizarlas.

5.2 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para el desarrollo del presente proyecto de mejora enfocado en la reducción de los tiempos de puesta a punto en el área de troquelado, fue necesario implementar dos técnicas de recolección de datos que permitieran obtener información confiable sobre el comportamiento real del proceso. Estas técnicas facilitan la identificación de problemas, el análisis de las actividades involucradas y la generación de propuestas de mejora basadas en evidencia.

Las dos técnicas utilizadas en el proyecto son:

1. Observación directa del proceso.
2. Toma de tiempos de operaciones.

Estas herramientas son ampliamente utilizadas en estudios de mejora de procesos dentro de la filosofía de Lean Manufacturing, ya que permiten identificar desperdicios, tiempos improductivos y oportunidades de optimización dentro de las operaciones productivas.

La observación directa consistió en analizar el proceso de puesta a punto mientras este se llevaba a cabo en condiciones reales de operación. Durante esta etapa se registraron las actividades que realizan los operadores desde el momento en que finaliza una orden de producción hasta que la máquina queda preparada para iniciar el siguiente lote. Este análisis permitió identificar la secuencia de tareas involucradas en el desmontaje del troquel anterior, la instalación del nuevo herramental, los ajustes mecánicos necesarios y las verificaciones previas al arranque de producción. Asimismo, mediante la observación directa se pudieron detectar actividades que no agregan valor al proceso, como tiempos de espera, desplazamientos innecesarios dentro del área de trabajo y búsqueda de herramientas o accesorios.

De manera complementaria, se realizó la toma de tiempos de cada una de las actividades del proceso de puesta a punto, utilizando registros cronológicos que

permitieron medir la duración real de cada operación. Esta información se organizó en la Tabla 1 “Tiempos de puesta a punto”, que incluye la duración de cada actividad, lo cual permitió obtener una visión cuantitativa del proceso actual.

5.3 HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS UTILIZADAS

Para identificar las causas que generan los tiempos excesivos en el proceso de cambio de troquel, se emplearon diversas herramientas de análisis propias de la filosofía de Lean Manufacturing, las cuales permiten estudiar los procesos productivos y detectar oportunidades de mejora. Entre las herramientas utilizadas destaca la técnica de los “5 por qué”, la cual consiste en realizar una serie de preguntas sucesivas con el objetivo de profundizar en el análisis de un problema hasta identificar su causa raíz. Esta herramienta es ampliamente utilizada en los sistemas de mejora continua debido a su simplicidad y efectividad para analizar problemas operativos dentro de los procesos productivos.

Según Taiichi Ohno, la técnica de los “5 por qué” forma parte de las prácticas de resolución de problemas dentro del Toyota Production System, ya que permite investigar las causas fundamentales que originan una desviación en el proceso, evitando enfocarse únicamente en los síntomas del problema. De acuerdo con Jeffrey K. Liker, esta herramienta contribuye a desarrollar una cultura organizacional orientada al análisis profundo de los procesos, facilitando la identificación de fallas en los métodos de trabajo, la falta de estandarización o la ineficiencia en la organización del área de producción. En el presente proyecto, la aplicación de la herramienta de los 5 por qué permitió analizar el problema central: tiempos elevados durante la puesta a punto. A partir de ello, el primer “¿Por qué?” identifica que los operadores realizan actividades improductivas, como la búsqueda de herramientas, la espera del traslado del troquel o interrupciones durante el proceso de

montaje. Estas situaciones generan retrasos y aumentan el tiempo total requerido para preparar la máquina.

En el segundo nivel del análisis se determina que estas actividades improductivas ocurren porque no existen procedimientos estandarizados que definan claramente las tareas, tiempos y responsabilidades durante el proceso de montaje del troquel. La falta de estandarización provoca que cada operador realice las actividades de acuerdo con su experiencia o criterio personal.

El tercer “¿Por qué?” profundiza aún más en la causa del problema, señalando que la empresa no cuenta con un manual de operaciones ni con un sistema formal para registrar y controlar los tiempos de puesta a punto. Esto impide medir el desempeño real del proceso y dificulta la identificación de oportunidades de mejora.

Posteriormente, el cuarto nivel del análisis indica que la organización no contemplaba previamente el impacto de los tiempos muertos ni la baja productividad generada por los altos tiempos de puesta a punto, lo que provocó que el problema no fuera abordado de manera estructurada dentro de la operación.

Finalmente, el quinto “¿Por qué?” concluye que la empresa ha comenzado a reconocer la necesidad de optimizar sus procesos operativos para reducir costos e incrementar su rentabilidad, lo que motiva la implementación de un proyecto de mejora enfocado en la reducción de los tiempos de preparación. En conjunto, el análisis permite identificar que la causa raíz del problema se relaciona principalmente con la falta de estandarización y control en el proceso de puesta a punto, lo cual abre la oportunidad de aplicar herramientas de mejora como SMED, orientadas a optimizar las actividades

de cambio de herramental y reducir los tiempos improductivos dentro del proceso productivo.

5.4 ANÁLISIS DEL SETUP ACTUAL

Como 1^{er} paso de SMED, se describe el proceso presentado en el diagrama de flujo; El proceso inicia con la indicación de la orden de producción. En este punto se verifica si la orden existe; en caso de que no exista, se procede a crear la orden de producción correspondiente. Una vez que la orden está disponible, se consulta la documentación necesaria para la ejecución del proceso.

Posteriormente, se preparan las herramientas y los amarres de ajuste requeridos y se realiza el traslado del troquel hacia la prensa. Con el troquel en su posición, se lleva a cabo el montaje correspondiente a la puesta punto.

Durante el montaje se realizan tres verificaciones clave: materia prima (MP), máquina (MQ) y troquel (TRQL). Si alguna de estas condiciones no cumple con los criterios establecidos, el proceso se detiene y se regresa al punto necesario para corregir la condición detectada. Cuando la materia prima, la máquina y el troquel se encuentran en condiciones adecuadas, el proceso continúa.

A continuación, se realiza el ajuste de altura y se procede a la liberación de la primera pieza. Esta pieza es evaluada contra las especificaciones establecidas. Si no cumple con las especificaciones, el proceso regresa al ajuste de altura para realizar las correcciones necesarias. Una vez que la pieza cumple con las especificaciones, el proceso concluye con el fin de la puesta punto y la liberación del proceso para producción.

5.5 PROPUESTA DE MEJORA

Derivado del análisis detallado del proceso actual de cambio y montaje de troqueles en el área de troquelado, se identificaron diversas ineficiencias asociadas principalmente a la falta de organización de actividades, tiempos elevados de búsqueda de herramientas, esperas innecesarias y ausencia de una clara diferenciación entre actividades internas y externas. Con base en este diagnóstico, se plantea una propuesta de mejora estructurada bajo los principios de la metodología SMED, orientada a la reducción de los tiempos de puesta a punto y al incremento de la eficiencia operativa del proceso.

Como primer eje de mejora, se propone la conversión de actividades internas en externas mediante la adecuada planificación y preparación previa al cambio de troquel. A partir del análisis realizado, se identificó que diversas actividades como la preparación de documentación, herramientas, amarres y materiales, actualmente se ejecutan con la máquina detenida, lo cual incrementa significativamente el tiempo improductivo. En este sentido, se plantea que dichas actividades sean realizadas de manera anticipada, bajo la coordinación del supervisor de producción y el analista, asegurando que todos los elementos necesarios se encuentren disponibles antes de iniciar el montaje.

En segundo lugar, se propone la eliminación de tiempos de espera mediante la mejora en la coordinación operativa. Particularmente, el traslado del troquel hacia la prensa representa uno de los principales factores de demora. Para mitigar esta situación, se plantea la implementación de una programación de montajes por turno, que permita anticipar las necesidades de cambio y coordinar oportunamente al montacarguista. Esta acción busca asegurar que el troquel siguiente se encuentre disponible en el momento exacto en que finalice la orden de producción en curso.

Como tercer eje, se plantea la optimización de las actividades internas que, por su naturaleza, deben realizarse con la máquina detenida.

De manera complementaria, se propone la implementación de la metodología 5's en el área de trabajo, con el fin de eliminar tiempos de búsqueda y mejorar la organización del entorno. A partir de esta herramienta, se plantea la creación de un carrito de herramientas y la integración de kits de amarre previamente definidos, que contengan todos los elementos necesarios para el montaje. Esta estrategia permitirá asegurar la disponibilidad inmediata de recursos y facilitará la ejecución de las actividades externas.

Asimismo, se plantea la reasignación de responsabilidades en ciertas actividades, trasladando algunas tareas operativas hacia funciones administrativas. Actividades como la preparación de documentación y el abastecimiento de materia prima podrán ser coordinadas previamente por el personal administrativo y el supervisor de producción, evitando interrupciones durante el proceso de cambio.

5.6 ACTIVIDADES OPERATIVAS

Se inicia la segregación de las actividades operativas de las administrativas, siendo las actividades operativas las cuales serán optimizadas.

La secuencia de actividades inicia con la búsqueda y traslado a la prensa de la documentación necesaria, como se muestra en la Imagen 9 “Búsqueda de documentación en sistema SAP” lo cual toma 10 minutos. Posteriormente, se emplean 10 minutos en buscar y llevar las llaves españolas, como se muestra en la Imagen 10 “Búsqueda de llaves españolas”. A continuación, como se muestra en la Imagen 11 “Traslado de amarres y paralelas”, se destinan 20 minutos a la localización y traslado de los amarres, seguidos de 20 minutos para llevar a la prensa las barras paralelas.

Archivo Editar Visualizar Datos Escena Módulos Herramientas Ventana Ayuda

IMAGINADOS Y ESTADOS - Mario Rubio

ES Superficial

Control de fabricación

Tipo: 000000
 Material: 000000
 Descripción producto: 000000
 Cantidad producida: 000000
 Análisis: 000000
 Cantidad de fabricación: 000000
 Cantidad de fabricación: 000000

Componente	Regimen	Importe
1. Tipo	000000	000000
2. Etapa de red	000000	000000
3. Recurso	000000	000000
4. Recurso	000000	000000
5. Recurso	000000	000000
6. Recurso	000000	000000
7. Recurso	000000	000000
8. Recurso	000000	000000
9. Recurso	000000	000000
10. Recurso	000000	000000
11. Recurso	000000	000000
12. Recurso	000000	000000
13. Recurso	000000	000000
14. Recurso	000000	000000
15. Recurso	000000	000000
16. Recurso	000000	000000
17. Recurso	000000	000000
18. Recurso	000000	000000
19. Recurso	000000	000000
20. Recurso	000000	000000

Imagen 9 Búsqueda de documentación en sistema SAP. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 10 Búsqueda de llaves españolas. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 11 Traslado de amarres y paralelas. Fuente: Elaboración propia.

Una vez reunidos los elementos necesarios, se procede a desamarrar y bajar el troquel actual, como se muestra en la Imagen 12 “Operador desamarrando de troquel”, actividad que requiere 10 minutos. Después de esto, como se muestra en la Imagen 13 “Operador en espera de que le lleven el troquel” se presenta un tiempo de espera de 35 minutos. Cuando el nuevo troquel está disponible, se realiza su subida, alineación y amarre, como se muestra en la Imagen 14 “Subir y alinear el troquel en la prensa”, proceso que toma 20 minutos.



Imagen 12 Operador desamarrando de troquel. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 13 Operador en espera de que le lleven el troquel. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 14 Subir y alinear el troquel en la prensa. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, el operador busca y lleva a la prensa el material de producción o el correspondiente a la fase anterior, como se muestra en la Imagen 15 “Búsqueda de materia prima” y la Imagen 16 “Traslado de materia prima a la prensa”.

Una vez que todo está preparado, se calibra la presión de troquelado, como se muestra en la Imagen 17 “Calibrar presión de la prensa” actividad que requiere 10 minutos.



Imagen 15 Búsqueda de materia prima. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 16 Traslado de materia prima a la prensa. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 17 Calibrar presión de la prensa. Fuente: Elaboración propia.

5.7 SEPARACIÓN DE ACTIVIDADES INTERNAS Y EXTERNAS

Una vez que ya se tienen identificadas las actividades operativas, proceden a tabularse en la Tabla 2 “Actividades internas y externas”. Continuando con el 2^{do} paso de SMED, se procede a separar las actividades en “Internas” y “Externas”, tal como se muestra con la verificación de casilla en la Tabla 2 “Actividades internas y externas”.

Tabla 2 Tabla de actividades internas y externas. Fuente: Elaboración propia.

Tabla de actividades internas / externas			
ACTIVIDADES	TIEMPO (MIN)	INTERNAS	EXTERNAS
Buscar y llevar a prensa la documentación	10	☐	☒
Buscar y llevar a prensa llaves españolas	10	☐	☒
Buscar y llevar a prensa amarres ¹	20	☐	☒
Buscar y llevar a prensa barras paralelas ²	20	☐	☒
Desamarrar y bajar troquel actual	10	☒	☐
Esperar a que lleven el siguiente troquel	35	☒	☐
Subir, alinear y amarrar el nuevo troquel	20	☒	☐
Buscar y llevar a prensa MP o fase anterior	15	☐	☒
Calibrar presión de troquelado	10	☒	☐
Liberar primer pieza	35	☒	☐
TOTAL		110	75

¹ Conjunto integrado por espárragos, bridas, rondanas, tuercas, aumentos, calzas.

² Barras metálicas usadas como aumentos de altura del troquel en la prensa.

5.8 OPTIMIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES

Continuando con el 3^{er} paso de SMED, se procede a optimizar las actividades restantes. De acuerdo a la clasificación de las actividades, quedan solo 3 tareas que deben de realizarse si o si con la prensa detenida. Estas son las actividades a las que le debemos reducir su tiempo.

En la actividad 1 (Desamarrar y bajar el troquel actual).

- Derivado de haber observado el proceso, el operador demora en realizar esta actividad por que el torque que tienen las tuercas de los amarres, es demasiado.
 - Para efectos prácticos, y optimizar la actividad sin invertir recurso extra, el operador pueda realizar palanca para que sea más fácil el poder retirar la tuerca. Quedando ahora un tiempo

de 5 min para desamarrar el troquel, como se muestra en la Imagen 18 “Desamarre del troquel” y la Imagen 19 “Troquel desamarrado”.



Imagen 18 Desamarre del troquel. Elaboración propia.



Imagen 19 Troquel desamarrado. Elaboración propia.

En la actividad 2 (Esperar a que le lleven el siguiente troquel).

Esta actividad es del tema administrativo, puesto que, para minimizar el tiempo de espera, basta con que el supervisor de producción realice una carga de trabajo por turno, como se muestra en la Imagen 20 “Carga de trabajo”.

- Dicha carga de trabajo, contiene el número de montajes a realizar durante el turno, así como los números de parte y las prensas dónde deberá montarse cada uno.
- Ahora es trabajo administrativo por parte del supervisor de producción, validar el tiempo aproximado en que el operador de la prensa demorará en terminar la Orden de Producción,
- Es suficiente con anticiparse a escribir la lista de montajes, como se muestra en la Imagen 21 “Lista de montajes”, en el pizarrón de producción, para que el montacarguista prepare el cambio de troqueles.
 - El anticiparse al término de la Orden de Producción, y coordinar al montacarguista, disminuye el tiempo de espera del montador en 0 min.

PROGRAMA DE PRODUCCIÓN 2026										
Fecha de inicio programa										
14/03/2026										
CARGA DE TRABAJO 1										
% DE CARGA DE MAQUINA	MAQUINA	HORA INICIO	# de parte	Operación	Descripción	Estado	Cantidad a producir	Tiempo requerido producción	Cantidad fabricada	% de cumplimiento
16:36:36	Prensa 15		1032P001	35	PUNZONADO	400	6244	16:36:36	6567	105%
0:00:00	Prensa 16							0:00:00		
46:19:23	Prensa 18		1032P001	30	RASURADO	320	6244	20:30:45	7520	120%
43:31:12	Prensa 19		2943P003	20	PRIMER DOBLEZ	250	5195	21:46:48	1130	22%
49:59:10	Prensa 21		971 846D	20	DOBLEZ Y PUNZONADO	360	17635	49:59:10	9253	52%
53:28:04	Prensa 22		1032P001	20	FORMADO	350	6244	18:50:24	5670	91%
18:26:10	Prensa 24		810 418	30	PUNZONADO	250	2717	11:52:05	2830	104%

Imagen 20 Carga de trabajo. Fuente: Elaboración propia.

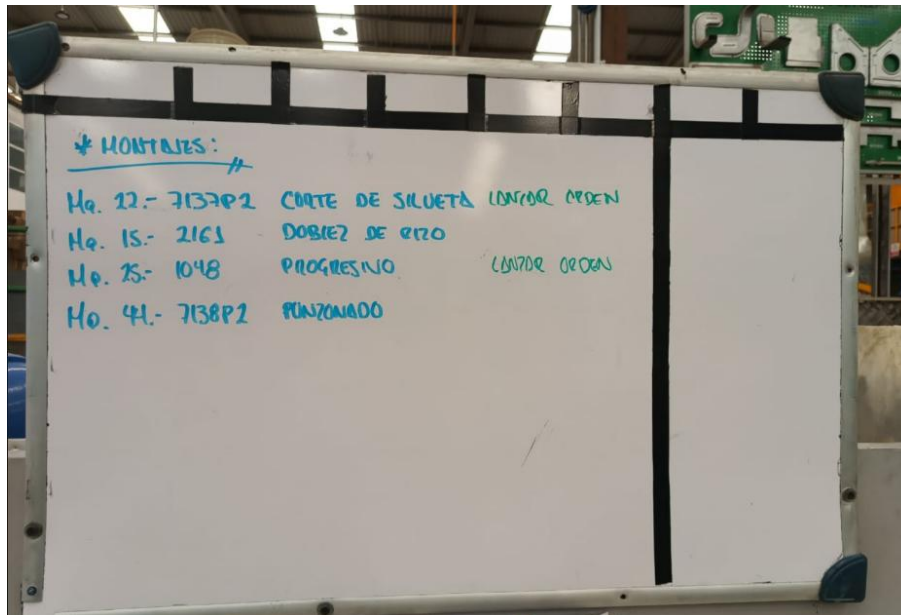


Imagen 21 Lista de montajes. Fuente: Elaboración propia.

En la actividad 3 (Subir, alinear y amarrar el nuevo troquel).

- Para la secuencia de estas actividades, no hay mucho que optimizar, simplemente es el trabajo en conjunto como se muestra en la Imagen 22 “Subir el troquel a prensa con el montacargas” y la Imagen 23 “Alinear el troquel entre el montador y el montacargarguista” para validar la fluidez de las actividades.
- En la Imagen 22 “Operador amarrando el troquel”, el montador ya debe de tener sus herramientas y kit’s de amarre listos.



Imagen 23 Subir el troquel a prensa con el montacargas. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 24 Alinear el troquel entre el montador y el montacargarguista. Elaboración propia.



Imagen 25 Operador amarrando el troquel. Elaboración propia.

** Para efectos de validar el tiempo efectivo de las operaciones referentes a producción, la actividad de “Liberar la primer pieza, como se muestra en la Imagen 25 “Liberación de 1er pieza vs dispositivo de medición” y la Imagen 26 “Liberación de 1er pieza, toma de medidas con calibrador”, se considera como actividad del departamento de calidad.



Imagen 26 Liberación de 1er pieza vs dispositivo de medición. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 27 Liberación de 1er pieza, toma de medidas con calibrador. Fuente: Elaboración propia.

Para esto, se considera tener las medidas y especificaciones, así como los instrumentos de medición listos.

Teniendo el inspector de calidad sus instrumentos de medición, las especificaciones y medidas de la pieza a liberar, el tiempo disminuye a 5 minutos.

Ahora bien, para las tareas que pueden realizarse en simultáneo con la prensa activa, también podemos optimizarlas.

En la actividad 1 (Buscar y llevar la documentación a la prensa).

- Esta actividad ahora será responsabilidad del analista de producción realizarla.
- Actualmente, el analista de producción, es el encargado de llevar la gestión de las Ordenes de Producción a nivel sistema, como se muestra en la Imagen 27 “Gestión de las órdenes de producción”.
- Lo único que será modificado, es que una vez realizada la Orden de Producción en el sistema SAP, deberá de imprimir el boletín de trabajo y las Tarjetas de Identificación, como se muestra en la Imagen 28 “Generación de la documentación para el operador”.

- Y será ahora el analista quien proporcione la documentación al montador, como se muestra en la Imagen 29 “Llevar la documentación a la prensa”.
- Esta actividad, al pasar a ser administrativa, también debe de ser gestionada con anticipación por parte del supervisor de producción.
 - El anticiparse al siguiente montaje, y coordinar al analista de producción, disminuye el tiempo de esta actividad en 0 min.

	C	F	G	I	J	K	O
	Nº documento	Número de producto	Columna2	Cantidad planificada	Cantidad completada	Cantidad pendiente	Columna1
2	422	1AST0011	96S0007	298	0	298	0%
3	423	1AST0012	96S0008	398	0	398	0%
4	441	1AST0031	96S0027	800	756	44	95%
5	601	1AST0004	96S0018	540	0	540	0%
6	915	1AST0025	96S0021	500	0	500	0%
7	916	1AST0028	96S0024	500	0	500	0%
8	1288	1AFRA005	497-01-987	12,842.00	6,217.00	6,625.00	48%
9	1321	1AFRA005	497-01-987	8,406.00	0	8,406.00	0%
10	1843	1AFRA009	49701-980AC	6,085.00	0	6,085.00	0%
11	1890	1LDCS019	31787079P002	9,455.00	4,523.00	4,932.00	48%
12	1901	1LDCS004	22204233P005	1,528.00	427	1,101.00	28%
13	1906	1ACON002	AC0400.2161.0000	1,888.00	0	1,888.00	0%
14	1933	1AAUD010	8MS 813 541	11,901.00	9,434.00	2,467.00	79%
15	1934	1AAUD011	8MS 813 542	11,901.00	10,230.00	1,671.00	86%
16	1943	1LDES001	1332P001	8,000.00	3,755.00	4,245.00	47%
17	1953	1LMAL027	39961933P001	15,767.00	7,033.00	8,734.00	45%
18	1996	1LMAL018	1336G001	625	344	281	55%
19	2000	1LMAS003	234D1034P001	4,187.00	925	3,262.00	22%
20	2005	1LMAL022	295D2005P001	13,205.00	8,820.00	4,385.00	67%
21	2007	1LMAL026	259C1696P002	6,421.00	4,421.00	2,000.00	69%
22	2008	1LMAL028	222D6079P001	723	717	6	99%
23	2017	4LMAL021	7040P0023	1,650.00	869	781	53%

Imagen 28 Gestión de las órdenes de producción. Fuente: Elaboración propia.

Imagen 29 Generación de la documentación para el operador. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 30 Llevar la documentación a la prensa. Fuente: Elaboración propia.

En la actividad 2 (Buscar y llevar a prensa llaves españolas)

- Esta actividad es abordada con la metodología 5's. Basta con implementar y respetar la metodología de manera correcta para mitigar esta actividad.
- En este punto se justifica el uso del carrito y caja de herramientas.
 - El implementar la metodología 5's en el área de trabajo, el uso del carrito y la caja de herramientas, reduce 25 min de tiempo.
 - Como se muestra en la Imagen 30 "Buscar y llevar a prensa llaves españolas" y la Imagen 31 "Caja de herramientas para el amarre del troquel en prensa"



Imagen 31 Buscar y llevar a prensa llaves españolas. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 31 Caja de herramientas para el amarre del troquel en prensa. Elaboración propia

En la actividad 3 (Buscar y llevar a prensa amarres).

- Esta actividad es abordada con la metodología 5's. Basta con implementar y respetar la metodología de manera correcta para mitigar esta actividad.

- De igual manera, este punto justifica el uso de los kits de amarre, como se muestra en la Imagen 32 Carrito con “Kits de amarre” y la Imagen 33 “Elementos de kit de amarre”.
 - El implementar la metodología 5´s en el área de trabajo reduce 20 min de tiempo en la actividad de Buscar y llevar a prensa amarres.

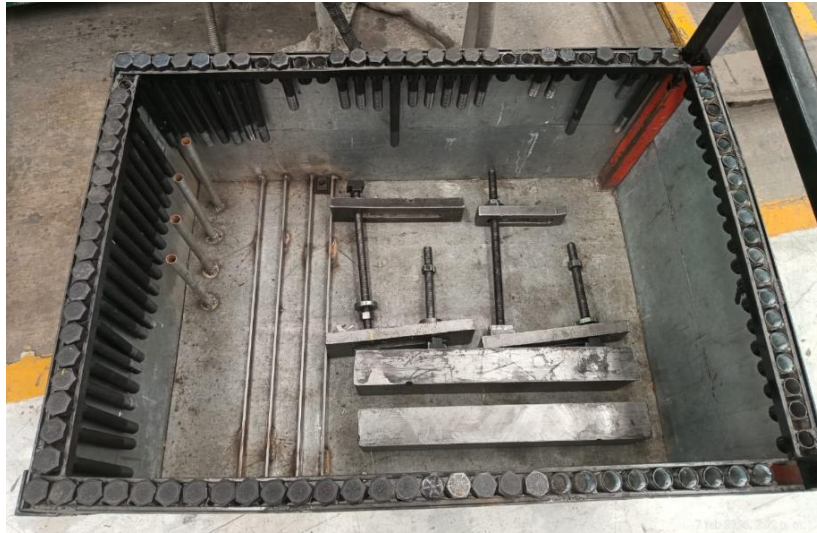


Imagen 32 Carrito con “Kits de amarre”. Elaboración propia



Imagen 32 Elementos de kit de amarre. Elaboración propia.

En la actividad 4 (Buscar y llevar a prensa barras paralelas).

- Esta actividad, como se muestra en la Imagen 34 “Traslado de amarres y paralelas” y la Imagen 35 “Paralelas a usar en el montaje del troquel”, son ejecutadas mientras la prensa está trabajando.



Imagen 34 Traslado de amarres y paralelas. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 33 Paralelas a usar en el montaje del troquel. Elaboración propia.

En la actividad 5 (Buscar y llevar a prensa materia prima o fase anterior)

- Al pasar a ser una tarea administrativa, será responsabilidad del supervisor de producción coordinar al montacarguista para acercar la MP a la prensa, como se muestra en la Imagen 36 “Buscar materia prima” y la Imagen 37 “Llevar materia prima a prensa”.



Imagen 34 Buscar materia prima. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 35 Llevar materia prima a prensa. Fuente: Elaboración propia.

Continuando con el 4^{to} paso de SMED, se procede a estandarizar la nueva propuesta de trabajo. Después de haber realizado las mejoras a las 3 actividades internas, y las 5 actividades externas, el nuevo tiempo de puesta a punto queda de la siguiente manera.

Los nuevos tiempos de las actividades, se muestran en la Tabla 3 “Tabla de tiempos de puesta a punto después del SMED”.

Tabla 3 Tabla de tiempos puesta a punto después de SMED. Fuente: Elaboración propia.

Tabla de tiempos de puesta a punto después del SMED

ACTIVIDADES	MINUTOS
Buscar y llevar a prensa la documentación	0
Buscar y llevar a prensa llaves españolas	0
Buscar y llevar a prensa amarres	0
Buscar y llevar a prensa barras paralelas	0
Desamarrar y bajar troquel actual	5
Esperar a que lleven el siguiente troquel	0
Subir, alinear y amarrar el nuevo troquel	10
Buscar y llevar a prensa MP o fase anterior	0
Calibrar presión de troquelado	10
Liberar primer pieza	5
TOTAL	30

Para poder lograr estos tiempos, es importante validar el siguiente orden en las actividades declaradas anteriormente en el diagrama de flujo.

Al inicio de turno:

- ✓ El supervisor al iniciar el turno, debe validar las 5's generales del departamento de producción. Validando cuando aplique, con ayuda del check list de 5's de la prensa.
- ✓ Mientras la prensa aún se encuentra activa:
 - Por parte del analista de producción, indicar la orden de producción, (previa validación si existe alguna orden abierta o es necesario generar una nueva).

- Por parte del analista de producción, generar o actualizar la documentación y llevarla a la prensa dónde se llevará a cabo el montaje.
 - Por parte del montador, buscar las barras paralelas.
 - Por parte del montador, llevar el carrito de herramientas.
 - Por parte del montador, llevar la materia prima o fase anterior de la pieza.
- ✓ Una vez que la prensa está detenida:
- Desamarrar y bajar el troquel actual.
 - Subir, alinear y amarrar el troquel actual.
 - Calibrar presión.
 - Liberar la 1^{er} pieza.

CAPÍTULO VI

6 RESULTADOS Y ANÁLISIS

El presente capítulo expone los resultados obtenidos a partir de la implementación de la metodología SMED en el proceso de cambio y montaje de troqueles dentro del área de troquelado de la empresa MAENA. A partir de la aplicación de herramientas de mejora continua y del análisis detallado del proceso mediante observación directa y toma de tiempos, fue posible evaluar el impacto de las acciones implementadas en la reducción de los tiempos de puesta a punto y en la optimización del desempeño operativo del sistema productivo.

En este apartado se presenta la comparativa del proceso antes y después de la implementación de las mejoras, mostrando los cambios obtenidos en los tiempos de actividades internas y externas, así como en el tiempo total de cambio de troquel. Asimismo, se analizan los efectos de estas mejoras en indicadores relevantes del proceso, tales como la disponibilidad de la maquinaria, la productividad y el aprovechamiento de la capacidad instalada. Estos resultados permiten evidenciar la efectividad de la metodología aplicada y su contribución a la reducción de tiempos improductivos dentro del proceso.

De igual manera, el capítulo incluye el análisis del impacto económico y operativo generado por las mejoras implementadas, así como la evaluación del cumplimiento del objetivo planteado en el proyecto. En este sentido, se presenta una discusión de los resultados obtenidos y su relación con los principios de la filosofía de Lean Manufacturing, destacando cómo la reorganización de actividades, la estandarización de procedimientos y la aplicación de herramientas como la 5's contribuyeron a mejorar la eficiencia del proceso de puesta a punto y a fortalecer la productividad del área de troquelado dentro de la empresa.

6.1 COMPARATIVA ANTES VS. DESPUÉS

Con los datos obtenidos dentro de los estudios realizados a las operaciones de trabajo, se logró concluir un antes y un después el cual se ven en el gráfico “Antes vs Después” donde la línea azul significa el tiempo en minutos inicial y la línea verde significa el tiempo en minutos después de la aplicación del SMED.

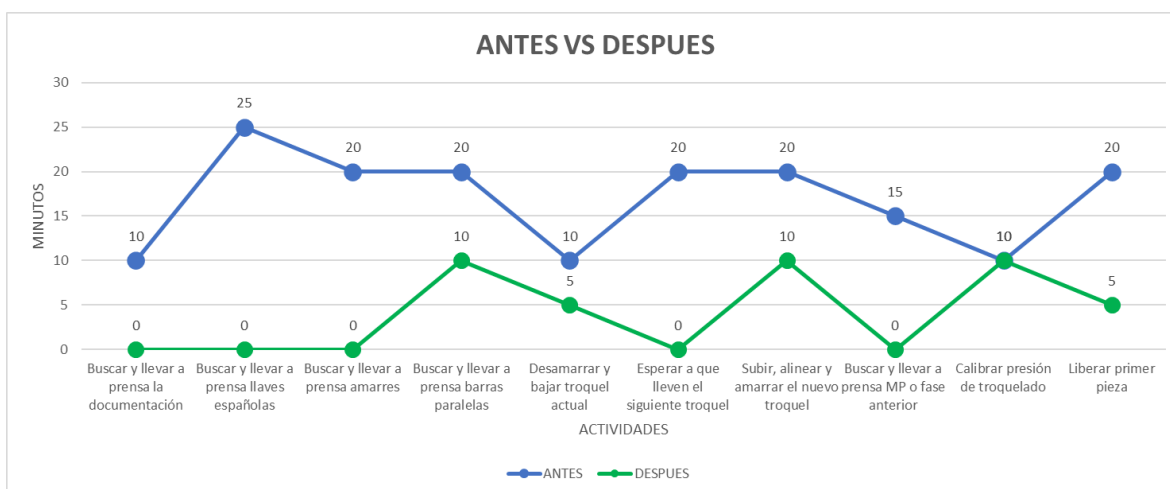


Imagen 36 Gráfica de resultados antes vs después. Fuente: Elaboración propia.

El % de tiempo reducido es del 78%

El análisis y la optimización de las actividades relacionadas con el cambio de troquel permitieron identificar oportunidades clave para la reducción de los tiempos muertos, tanto en aquellas tareas que requieren la prensa detenida como en las que pueden ejecutarse con la prensa en funcionamiento. A partir de un enfoque estructurado basado en la metodología SMED, fue posible reorganizar el proceso mediante la correcta separación de actividades internas y externas, la estandarización de procedimientos y la eliminación de desperdicios innecesarios, lo que derivó en una disminución significativa del tiempo total de cambio.

Los resultados obtenidos evidencian una mejora sustancial en el desempeño del proceso de puesta punto, reflejada en la reducción del tiempo total de montaje de 185 a 40 minutos, equivalente a una disminución del 78%. Esta reducción confirma que la optimización del tiempo no se logró a través de una sola acción aislada, sino como resultado de un análisis integral del proceso y de la aplicación disciplinada de los principios de la manufactura esbelta. La disminución de los tiempos de paro permitió transformar periodos improductivos en tiempo efectivo de operación, incrementando la disponibilidad de la maquinaria y mejorando la continuidad del flujo productivo.

En el caso de las actividades internas, se introdujeron soluciones prácticas orientadas a facilitar la ejecución del trabajo y reducir la variabilidad operativa, como el uso de extensiones para el desamarre de troqueles, la implementación de kits de amarre, el uso de un carrito de herramientas y la incorporación de herramientas más eficientes, como el torquímetro. Estas acciones contribuyeron directamente a disminuir los tiempos de máquina detenida, lo que impactó positivamente en la eficiencia operativa y en el aprovechamiento de la capacidad instalada.

De manera paralela, la aplicación de la metodología 5's, alineada con los principios del Lean Manufacturing, permitió optimizar el entorno de trabajo al eliminar tiempos perdidos en la búsqueda de herramientas y materiales, mejorar el orden y la limpieza del área, y fortalecer la disciplina operativa del personal. Esta mejora en las condiciones del entorno facilitó la ejecución de las actividades externas y reforzó la estandarización del proceso, reduciendo la variabilidad entre operadores y turnos.

6.2 IMPACTO EN INDICADORES: OEE, DISPONIBILIDAD, PRODUCTIVIDAD

Los resultados obtenidos a partir de la implementación de mejoras en el proceso de cambio de troquel permiten evaluar de manera clara el impacto generado en los principales indicadores de desempeño del área de troquelado. Mediante la aplicación de la metodología SMED y el apoyo de herramientas de Lean Manufacturing, fue posible optimizar significativamente el tiempo de preparación, mejorar la disponibilidad del equipo y aumentar la eficiencia del proceso productivo.

En términos de optimización del tiempo, los resultados muestran una mejora considerable en el proceso de puesta a punto. El tiempo total de cambio de troquel se redujo de 185 a 40 minutos, lo que representa una disminución del 78% respecto al proceso inicial. Asimismo, las actividades internas, es decir, aquellas que requieren que la prensa esté detenida, se redujeron de 75 a 10 minutos, logrando una reducción del 86%. De manera similar, las actividades externas, que pueden realizarse con la máquina en funcionamiento, disminuyeron de 110 a 30 minutos, lo que equivale a una reducción del 72%. Estos resultados evidencian la efectividad del enfoque SMED para reorganizar el proceso mediante la separación de actividades internas y externas y la optimización de las operaciones de montaje.

En el ámbito de la optimización de la producción, la reducción de los tiempos muertos permitió transformar periodos improductivos en tiempo efectivo de operación. Como resultado, el tiempo recuperado durante el proceso de cambio de troquel se traduce en un incremento en la capacidad productiva del sistema, permitiendo alcanzar un promedio de 2,610 piezas producidas por día. Este aumento en la producción se debe principalmente a la mayor disponibilidad de la maquinaria y a la continuidad del flujo productivo dentro del área de troquelado.

Desde la perspectiva de la optimización económica, el incremento en la productividad genera también un beneficio financiero para la organización. El aprovechamiento del tiempo recuperado durante los cambios de herramental

permite generar un beneficio económico aproximado de \$10,440 pesos diarios, resultado del aumento en la producción y del mejor aprovechamiento de los recursos disponibles en el proceso.

Por otra parte, en términos de seguridad y organización del área de trabajo, la aplicación de la metodología 5's permitió mejorar significativamente las condiciones del entorno operativo. Gracias a la implementación de prácticas de orden, limpieza y estandarización, el nivel de organización del área de trabajo pasó de un nivel bajo a un nivel alto, lo que facilita la localización de herramientas, reduce tiempos de búsqueda y mejora la seguridad del personal durante las operaciones de montaje.

En conjunto, la implementación de estas mejoras permitió optimizar de manera significativa el proceso de puesta a punto en el área de troquelado, logrando eliminar gran parte de los tiempos muertos y aprovechar de manera más eficiente la capacidad productiva del sistema. La redistribución de actividades, la estandarización de procedimientos y la aplicación de herramientas de mejora continua se tradujeron en un incremento notable de la eficiencia operativa, una mayor disponibilidad de maquinaria y una mayor estabilidad en el flujo de producción. De esta manera, la reducción del tiempo total de puesta a punto de 185 a 40 minutos no solo representa una disminución importante del tiempo improductivo, sino también un incremento directo en la productividad y en el desempeño general del proceso.

6.3 REDUCCIÓN DE TIEMPOS LOGRADA VS. OBJETIVO PLANTEADO

El objetivo general del proyecto consistía en implementar la metodología SMED con la finalidad de reducir los tiempos de cambio y montaje de herramientas en al menos un 20%, mejorando con ello la eficiencia operativa y la productividad del proceso de troquelado. A partir de la toma de tiempos, la observación directa del proceso y el análisis de las actividades involucradas en la puesta a punto, fue posible identificar

oportunidades de mejora relacionadas con la reorganización de tareas, la eliminación de actividades innecesarias y la estandarización de procedimientos.

Tras la implementación de las mejoras propuestas, el tiempo total de puesta a punto se redujo de 185 minutos a 40 minutos, lo que representa una reducción del 78% respecto al tiempo inicial. Este resultado supera ampliamente el objetivo planteado originalmente, ya que se logró una disminución 58 puntos porcentuales mayor a la meta establecida del 20%. De manera complementaria, también se observó una reducción significativa en las actividades internas, que pasaron de 75 a 10 minutos (86%), y en las actividades externas, que disminuyeron de 110 a 30 minutos (72%), evidenciando una correcta aplicación de los principios de la metodología SMED.

Estos resultados demuestran que la aplicación sistemática de herramientas de Lean Manufacturing permitió optimizar el proceso de cambio de troquel, incrementando la disponibilidad de la maquinaria y reduciendo significativamente los tiempos improductivos. En consecuencia, no solo se cumplió el objetivo de reducción de tiempos planteado en el proyecto, sino que se superó de manera considerable, generando además beneficios adicionales en productividad, aprovechamiento de la capacidad instalada y estabilidad en el flujo de producción.

6.4 RESULTADOS

Derivado de los resultados obtenidos se tiene en el concepto de optimización del tiempo:

1. Tiempo total de puesta a punto se reduce de 185 a 40 min.
 - Reducción del tiempo en un 78%.
2. Tiempo de actividades internas reducido de 75 a 10 min.
 - Reducción de tiempo en un 86%.
3. Tiempo de actividades externas reducido de 110 a 30 min.
 - Reducción de tiempo en un 72%

Derivado de los resultados obtenidos se tiene en el concepto de optimización de la producción:

4. Tiempo muerto convertido a piezas producidas.
 - Promedio de 2,610 piezas por día.

Derivado de los resultados obtenidos se tiene en el concepto de optimización económica:

5. Beneficio económico.
 - Promedio de \$10,440 por día.

Derivado de los resultados obtenidos se tiene en el concepto de optimización de la seguridad (5's):

6. Nivel de organización del área de trabajo.
 - Pasa de un nivel bajo a alto.

La implementación de las mejoras propuestas permitió optimizar de manera significativa el proceso de puesta punto en el área de troquelado, logrando la eliminación total de los tiempos muertos y el aprovechamiento completo de la capacidad productiva.

La redistribución de actividades, la estandarización de procedimientos y la aplicación de principios Lean, como el SMED y las 5's, se tradujeron en un incremento notable de la eficiencia operativa y en una mayor estabilidad del flujo de producción.

La reducción del tiempo total de puesta punto de 185 a 40 minutos no solo representa una disminución del 78% en el tiempo improductivo, sino también un incremento directo en la productividad, al garantizar una mayor disponibilidad de máquina y una mejor utilización de recursos.

6.5 ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO

A continuación, se muestra el análisis del costo beneficio después de haber optimizado el proceso de puesta a punto.

1. Se realiza la consideración de que se tienen un total de entre 2 y 4 montajes por día.
 - a. Para efectos prácticos de toma un promedio de 3 montajes por día.
2. Tomando los datos anteriores, se pasa de tener un tiempo de 185 a 40 min.
 - a. Lo que significa una ganancia de 145 minutos para producción.
3. Se realiza la consideración de que se tienen tasas de producción de entre 360 y 450 piezas por hora.
 - a. Para efectos prácticos se considera un promedio de 405 piezas por hora. (6 piezas por minuto).

4. Se realiza la consideración de que se tienen precios por pieza entre los \$3 y los \$5.
 - a. Para efectos prácticos, se considera un promedio de \$4

La evaluación nos da como resultado una ganancia económica promedio por día de \$10,440.

6.6 CONCLUSIONES

El presente proyecto de ingeniería cumplió satisfactoriamente con el objetivo de implementar la metodología SMED (Single-Minute Exchange of Die) como herramienta estratégica para la reducción de los tiempos de cambio y montaje de herramientas en los procesos de fabricación de componentes metálicos de la empresa MAENA. A partir de un análisis detallado del proceso, fue posible identificar las causas raíz que originaban las demoras durante la puesta punto, principalmente asociadas a la falta de estandarización, desorganización del área de trabajo y una inadecuada distribución de las actividades internas y externas.

La aplicación estructurada de las metodologías SMED, 5's y Lean Manufacturing permitió establecer un procedimiento sistemático de mejora, enfocado en la eliminación de actividades que no agregan valor, la preparación anticipada de recursos y la optimización del flujo de trabajo. Como resultado, el tiempo total de montaje de herramientas se redujo de 185 a 40 minutos, lo que representó una disminución del 78%, validando la efectividad de la metodología implementada y dando respuesta a la pregunta de investigación planteada.

Asimismo, la redistribución de las actividades internas y externas generó mejoras significativas en la eficiencia operativa, reflejadas en una mayor disponibilidad de

máquina y en el aprovechamiento del tiempo anteriormente considerado como improductivo. Este incremento en la capacidad operativa se tradujo en un aumento promedio de 2,610 piezas producidas por día, lo que evidenció un impacto positivo y medible en la productividad del proceso.

Desde el punto de vista económico, la reducción de tiempos de montaje permitió generar un beneficio financiero promedio diario significativo, demostrando que la mejora no solo fue técnicamente viable, sino también económicamente justificable dentro de las limitaciones de recursos existentes. Adicionalmente, la implementación de las 5's contribuyó a mejorar el orden, la limpieza y la seguridad del área de trabajo, elevando el nivel de organización del entorno productivo y fortaleciendo la disciplina operativa del personal involucrado.

Finalmente, considerando los alcances y limitaciones definidos para el proyecto, los resultados obtenidos confirman que la aplicación de metodologías Lean en procesos de montaje de herramientas constituye una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia, productividad y sostenibilidad operativa. El proyecto sienta las bases para la mejora continua del proceso y abre la posibilidad de futuras aplicaciones de la metodología en otras áreas de la empresa, siempre dentro de un enfoque de optimización gradual y sistemática.

6.7 RECOMENDACIONES

1. Estandarización y mantenimiento del proceso SMED

Se recomienda formalizar y documentar de manera permanente el procedimiento de cambio y montaje de herramientas desarrollado durante el proyecto, asegurando que sea integrado a los manuales operativos de la empresa. Asimismo, es importante establecer revisiones periódicas del método para garantizar su correcta aplicación y evitar desviaciones que puedan incrementar nuevamente los tiempos de montaje.

2. Capacitación continua del personal operativo y técnico

Con el fin de asegurar la sostenibilidad de las mejoras logradas, se sugiere implementar programas de capacitación continua enfocados en la metodología SMED, 5's y principios Lean Manufacturing. Esto permitirá fortalecer la cultura de mejora continua, reducir la dependencia del conocimiento empírico y asegurar que el personal adopte y mantenga los nuevos estándares operativos.

3. Seguimiento y control mediante indicadores de desempeño

Se recomienda definir y monitorear indicadores clave de desempeño (KPIs), tales como tiempo de puesta punto, número de montajes por turno, tiempo muerto y disponibilidad de máquina. El seguimiento constante de estos indicadores facilitará la detección temprana de desviaciones y permitirá evaluar la eficiencia del proceso de manera objetiva y continua.

4. Extensión gradual de la metodología a otras estaciones de trabajo

Considerando los resultados positivos obtenidos, se sugiere evaluar la viabilidad de replicar la metodología SMED en otras prensas o estaciones del proceso productivo, priorizando aquellas con mayor frecuencia de cambios de herramientas. Esta expansión deberá realizarse de forma gradual y controlada, respetando las capacidades técnicas y los recursos disponibles.

5. Refuerzo de la metodología 5's en el área de producción

Para mantener un entorno de trabajo ordenado y seguro, se recomienda realizar auditorías periódicas de 5's y establecer responsables por área. Esto permitirá conservar los niveles de organización alcanzados, reducir riesgos operativos y facilitar la preparación anticipada de herramientas y materiales durante los cambios de montaje.

6. Evaluación de mejoras a mediano y largo plazo

Aunque el proyecto estuvo limitado en su alcance temporal, se recomienda llevar a cabo evaluaciones posteriores a mediano y largo plazo para validar la estabilidad de los resultados obtenidos. Estas evaluaciones permitirán identificar nuevas oportunidades de mejora y ajustar el proceso conforme a cambios en la demanda, el volumen de producción o las condiciones operativas.

7. Análisis futuro de inversión en mejoras técnicas

En caso de que la empresa disponga de mayores recursos en el futuro, se sugiere analizar la factibilidad de incorporar mejoras técnicas adicionales, como dispositivos de posicionamiento rápido, sistemas de fijación estandarizados o ayudas mecánicas, que permitan continuar reduciendo los tiempos de montaje sin comprometer la seguridad ni la calidad del proceso.

6.8 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la empresa dedicada a la fabricación de componentes metálicos mediante procesos de troquelado demuestran que la implementación de la metodología SMED fue efectiva para optimizar el proceso de cambio y montaje de herramientas en las prensas de producción. A partir de la observación directa del proceso y la toma de tiempos en el área de trabajo, se identificaron actividades que generaban retrasos durante la puesta a punto, como la búsqueda de herramientas, la preparación tardía de materiales y la falta de estandarización en la secuencia de operaciones. Estas condiciones provocaban que el equipo permaneciera detenido durante largos periodos, afectando directamente la productividad del área de troquelado.

Después de aplicar las fases de la metodología SMED dentro del proceso operativo de la empresa, se logró reducir el tiempo total de puesta a punto de 185 minutos a 40 minutos, lo que representa una disminución del 78% en el tiempo de preparación de la maquinaria. Esta mejora permitió incrementar la disponibilidad de las prensas para la producción continua, optimizando el aprovechamiento de la capacidad instalada. Además, la correcta clasificación de actividades internas y externas permitió reorganizar las tareas del personal operativo, reduciendo las actividades internas de 75 a 10 minutos y las externas de 110 a 30 minutos, lo cual evidencia una mejora significativa en la eficiencia del proceso productivo.

Adicionalmente, los beneficios para la empresa no se limitaron únicamente a la reducción de tiempos de cambio. La disminución de los periodos de inactividad permitió transformar tiempo improductivo en producción efectiva, generando un promedio de 2,610 piezas adicionales por día, lo que se traduce en un beneficio económico aproximado de \$10,440 diarios. Asimismo, la aplicación de prácticas de orden y limpieza basadas en la metodología 5's mejoró significativamente la organización del área de trabajo, pasando de un nivel bajo a un nivel alto.

ANEXO 1

ACTIVIDAD	SI CUMPLE	NO CUMPLE
Seiri (Clasificar)		
¿Están separadas y etiquetadas las herramientas necesarias de las innecesarias?	☐	☐
¿Se han retirado del área objetos, herramientas o materiales que no se usan?	☐	☐
Seiton (Ordenar)		
¿Las herramientas y materiales están organizados en lugares designados?	☐	☐
¿Los elementos están etiquetados claramente para facilitar su identificación?	☐	☐
¿El acceso a herramientas y materiales es rápido y sin obstáculos?	☐	☐
Seiso (Limpiar)		
¿El área de trabajo está limpia y libre de polvo, residuos o derrames?	☐	☐
¿Se realiza limpieza rutinaria después de cada montaje o cambio de troquel?	☐	☐
¿Se utilizan los equipos y materiales de limpieza adecuados?	☐	☐
Seiketsu (Estandarizar)		
¿Existen procedimientos o guías visuales para mantener el orden y limpieza?	☐	☐
Shitsuke (Disciplina)		
¿Se fomenta la disciplina y el hábito de mantener el área ordenada constantemente?	☐	☐
¿Se realizan auditorías o revisiones periódicas para asegurar la aplicación de las 5'S?	☐	☐
¿El personal está capacitado en la metodología 5'S y su importancia?	☐	☐

GLOSARIO

5's:

Metodología japonesa basada en cinco principios (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke) que busca mantener el lugar de trabajo limpio, ordenado y eficiente para mejorar la productividad y la seguridad.

Actividades internas:

Tareas que solo pueden realizarse cuando la máquina está detenida durante un cambio o ajuste de herramienta.

Actividades externas:

Tareas que pueden realizarse mientras la máquina está en funcionamiento, como preparar herramientas o materiales.

Análisis de causa raíz:

Método que permite identificar el origen principal de un problema mediante herramientas como el diagrama de Ishikawa o los 5 porqués.

Cronometraje:

Técnica utilizada para medir el tiempo exacto que dura cada actividad o proceso productivo.

Diagrama de flujo:

Representación gráfica de un proceso que muestra la secuencia de actividades y las decisiones involucradas.

Estandarización:

Proceso de establecer métodos y procedimientos uniformes para realizar tareas, con el fin de reducir la variabilidad y mejorar la eficiencia.

Gap:

Vacío o distancia excesiva entre dos términos que se contrastan.

Herramientales:

Conjunto de herramientas, moldes o dispositivos utilizados en procesos industriales, especialmente en troquelado y montaje.

Kaizen:

Filosofía japonesa de mejora continua que busca optimizar procesos mediante pequeños cambios constantes.

Lean Manufacturing (Manufactura Esbelta):

Sistema de gestión que busca eliminar desperdicios, optimizar recursos y maximizar el valor para el cliente.

Metodología SMED (Single-Minute Exchange of Die):

Técnica desarrollada por Shigeo Shingo para reducir los tiempos de cambio de herramienta en procesos productivos, separando tareas internas y externas y estandarizando las operaciones.

Montaje de herramientas:

Proceso de instalación, ajuste y preparación de las herramientas necesarias para iniciar la producción en una máquina o línea de trabajo.

Poka-Yoke:

Dispositivo o sistema diseñado para prevenir errores humanos durante la producción.

Producción Justo a Tiempo (JIT):

Sistema de producción que busca fabricar los productos necesarios en el momento exacto y en la cantidad requerida, evitando inventarios excesivos.

Seiri (Clasificar):

Primera "S" de la metodología japonesa 5's; consiste en separar lo necesario de lo innecesario en el lugar de trabajo.

Seiton (Ordenar):

Segunda "S" de las 5's; consiste en organizar los elementos necesarios de forma lógica y accesible.

Seiso (Limpiar):

Tercera "S"; implica mantener el espacio de trabajo limpio y detectar anomalías en equipos o instalaciones.

Seiketsu (Estandarizar):

Cuarta "S"; se refiere a mantener las prácticas de clasificación, orden y limpieza mediante normas y procedimientos.

Shitsuke (Disciplina):

Quinta "S"; promueve la autodisciplina y el hábito de mantener los estándares establecidos.

Sistema de Producción Toyota (TPS):

Modelo de gestión desarrollado por Toyota, basado en la eficiencia, la reducción de desperdicios y la mejora continua. Es el origen del enfoque Lean y del método SMED.

SMED:

Metodología de mejora continua (Lean Manufacturing) desarrollada por Shigeo Shingo para reducir drásticamente el tiempo de cambio de herramientas y configuración de maquinaria a menos de 10 minutos

Tiempos muertos:

Períodos en los que una máquina o un operario no están produciendo debido a esperas, ajustes o falta de materiales.

Troquelado:

Proceso industrial en el que se da forma a piezas metálicas mediante presión o corte con el uso de troqueles.

Valor agregado:

Toda actividad dentro del proceso de producción que contribuye directamente a satisfacer las necesidades del cliente.

Variables de investigación:

Elementos o factores que se analizan o miden dentro de un estudio para explicar un fenómeno o problema determinado.

REFERENCIAS

- Abdulmalek, F. A., & Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapuesta a puntoing via simulation. International Journal of Production Economics, 107(1), 223–236. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.09.009>
- Acosta Tapasco, F. C., Arboleda Zúñiga, J., & Romero, H. F. (2023). Propuesta para la reducción de los tiempos de alistamiento en el proceso de inyección EVA en una empresa del sector calzado mediante la implementación de la metodología SMED. Inventum, 18(35), 14–28. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.18.35.2023.14-28>
- Analysis of lean management methods: Evidence from the manufacturing industry in the Czech Republic. (2024). Business Perspectives, 22(3), 517–527. [https://doi.org/10.21511/puesta a puntom.22\(3\).2024.39](https://doi.org/10.21511/puesta a puntom.22(3).2024.39)
- Bicheno, J., & Holweg, M. (2016). The lean toolbox (5th ed.). Picsie Books.
- Braglia, M., Di Paco, F., & Marrazzini, L. (2023). A new lean tool for efficiency evaluation in SMED projects. <https://www.researchgate.net/publication/367235622>
- Cahyadi, D. T., Wijayanto, W., Sucianingrum, R. A., & Nafasa, A. Y. (2025). Literature review on efforts to optimize mold change time using SMED (Single Minute Exchange of Dies). Journal of Engineering and Apuesta a puntolied Technology, 1(2), 181–190. <https://doi.org/10.65310/0pd0n328>
- Carbonell, F. E. (2013). Técnica SMED: Reducción del tiempo de preparación. 3C Tecnología. <https://3ciencias.com/wp-content/uploads/2013/05/TECNICA-SMED.pdf>
- Chiarini, A. (2013). Lean organization: From the tools of lean production to lean office. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-88-470-2528-1>

- Da Silva, I. B., & Godinho Filho, M. (2019). [Single-minute exchange of die \(SMED\)](https://www.learnleansigma.com/guides/smed-single-minute-exchange-of-die/). Learn Lean Sigma. <https://www.learnleansigma.com/guides/smed-single-minute-exchange-of-die/>
- De La Garza-Suárez, E., Vázquez-Martínez, M. D. C., Treviño-Urbe, J. J., & Pérez-Charles, L. O. (2025). Reducción de tiempos en línea de producción mediante la implementación de manufactura esbelta. [Revista Interdisciplinaria de Ingeniería Sustentable y Desarrollo Social](https://doi.org/10.63728/riisds.v11i1.159), 11(1), 69–86. <https://doi.org/10.63728/riisds.v11i1.159>
- Delgado, A., Sánchez, J., & Salas, R. (2022). Modelo para reducir los tiempos de entrega de proyectos aplicando TPM y SMED: Caso de estudio en una empresa metalmecánica. https://laccei.org/LACCEI2022-BocaRaton/full_papers/FP727.pdf
- Dennis, P. (2016). [Lean production simplified: A plain-language guide to the world's most powerful production system](#) (3rd ed.). CRC Press.
- Domínguez, A. B., Ortiz, D. M., Naranjo, I. E., & Lluga, J. M. (2020). Aplicación de la metodología SMED en el proceso de cambio de matrices en la industria metalmecánica: Caso Ecuador. [Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação](#), (E37), 140–152.
- Dora, M., Kumar, M., Van Goubergen, D., Molnar, A., & Gellynck, X. (2014). Operational performance and critical success factors of lean manufacturing in European SMEs. [Trends in Food Science & Technology](#), 40(2), 156–164.
- Erazo Rodríguez, A. (2025). Análisis de enfoques Lean Manufacturing en procesos productivos industriales para la mejora de la eficiencia operativa. [Polo del Conocimiento](#).
- Espinoza-Huamash, M., Arana-Hurtado, I., León-Chavarri, C., & Eng, B. (2023). Modelo de gestión de mantenimiento para aumentar la disponibilidad en una PYME metalmecánica aplicando TPM, SMED y PDCA. <https://laccei.org/LEIRD2022-VirtualEdition/full-papers/FP70.pdf>

- García, J. P. E., Romero, M. A. B., & Fonseca, M. A. P. (2022). SMED: Optimización del proceso de producción de maquinarias y equipos industriales. Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, 6(2), 76–85. <https://investigacion.utc.edu.ec/index.php/ciya/article/view/440/446>
- García, M. Á. G., Angulo, P. S., de Benito Martín, J. J., & Melero, J. G. (2012). Definición de una metodología para una aplicación práctica del SMED. Técnica Industrial, (298), 46–54.
- García-Alcaraz, J. L., Maldonado-Macías, A. A., & Alor-Hernández, G. (2014). Impact of lean manufacturing tools on the quality of manufacturing processes. Journal of Manufacturing Technology Management, 25(6), 889–915. <https://doi.org/10.1108/JMTM-10-2012-0105>
- Gibbons, P. M., & Burgess, S. C. (2010). Introducing OEE as a measure of lean six sigma capability. International Journal of Lean Six Sigma, 1(2), 134–156. <https://doi.org/10.1108/20401461011049511>
- Gómez, L. F. G., López, D. Y. O., Castiblanco, A. M. O., & Mateus, T. A. V. (2021). Análisis de la metodología SMED en una empresa del sector metalmecánico de la ciudad de Manizales. En Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería.
- Heinzova, R., Hoke, E., & Janova, N. (2024). Lean management methods: Evidence from the manufacturing industry in the Czech Republic. Business Perspectives. [https://doi.org/10.21511/puesta.a.puntom.22\(3\).2024.39](https://doi.org/10.21511/puesta.a.puntom.22(3).2024.39)
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.

- Karlsson, C., & Åhlström, P. (1996). Assessing changes towards lean production. International Journal of Operations & Production Management, 16(2), 24–41. <https://doi.org/10.1108/01443579610109820>
- Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., & Malhotra, M. K. (2019). Operations management: Processes and supuesta a puntoly chains (12th ed.). Pearson Education.
- Kumar, R., & Kumar, V. (2014). Productivity improvement through lean manufacturing tools. International Journal of Advanced Engineering Research and Studies, 3(2), 44–48.
- Liker, J. K. (2004). The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. McGraw-Hill.
- López, C. A., & Flores, F. O. (2014). Reducción de tiempos de preparación mediante SMED en una empresa metalmecánica.
- Marcella, S., & Widjajati, E. P. (2024). Analysis of lean manufacturing implementation using the SMED method to reduce setup time in injection molding machines. ASCI Journal. <https://ascijournal.eu/index.php/asci/article/view/2698>
- Melton, T. (2005). The benefits of lean manufacturing: What lean thinking has to offer the process industries. Chemical Engineering Research and Design, 83(6), 662–673. <https://doi.org/10.1205/cherd.04351>
- Ociecek, W., Kraśniewski, D., & Furman, J. (2025). Implementation of the SMED method on a production line to improve work efficiency. Production Engineering Archives, 31(3), 346–355. <https://doi.org/10.30657/pea.2025.31.32>
- Ohno, T. (1988). Toyota production system: Beyond large-scale production. Productivity Press.
- Orellana-Núñez, N., Puerta-Girón, M., & León-Chavarri, C. (2022). Modelo de gestión de la producción para reducir los retrasos en las entregas en una pyme metalmecánica mediante herramientas lean. <https://laccei.org/LEIRD2022-VirtualEdition/full-papers/FP133.pdf>

- Patel, V. C., & Shah, D. B. (2018). Implementation of SMED methodology: A review. [International Journal of Engineering Research & Technology](#), 7(4), 1–5.
- Pettersen, J. (2009). Defining lean production: Some conceptual and practical issues. [The TQM Journal](#), 21(2), 127–142. <https://doi.org/10.1108/17542730910938137>
- Posada, J. G. A. (2007). Interacción y conexiones entre las técnicas 5S, SMED y Poka Yoke en procesos de mejoramiento continuo. [Ingeniería e Investigación](#), 27(1), 93–101.
- Rahman, N. A. A., Khamis, N. K., Zain, R. M., Deros, B. M., & Mahmood, W. H. W. (2010). Implementation of 5S practices in manufacturing companies: A case study. [American Journal of Applied Sciences](#), 7(8), 1182–1189.
- Rodríguez Sotelo, D. (2022). [Propuesta de mejora de indicadores de productividad en una empresa metalmecánica mediante herramientas de Lean Manufacturing](#) [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Runtuk, J. K. (2021). Setup time reduction via SMED and 5S: A case study. [Journal of Industrial Engineering](#).
- Shah, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. [Journal of Operations Management](#), 25(4), 785–805. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.019>
- Shingo, S. (2017). [A revolution in manufacturing: The SMED system](#) (3rd ed.). Routledge.
- Singh, J., & Singh, H. (2015). Continuous improvement philosophy: Literature review and directions. [Benchmarking: An International Journal](#), 22(1), 75–119. <https://doi.org/10.1108/BIJ-06-2012-0038>
- Slack, N., Brandon-Jones, A., & Burgess, N. (2022). [Operations management](#) (10th ed.). Pearson Education.

- Tapia Soberón, L. V. (2024). Aumento de la productividad en una empresa metalmecánica aplicando Lean Manufacturing [Tesis]. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Wilson, L. (2010). How to implement lean manufacturing. McGraw-Hill.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation (2nd ed.). Free Press.