



Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco
División de Ingeniería Industrial

Tesis

**Implementación de la metodología SMED
para la reducción del tiempo de SET UP en
centros de maquinado CNC y su impacto
en la disponibilidad del equipo**

Presenta:

Mario Becerril López

Director

M.C. Victor Manuel Ferreyra Coroy

Fecha: marzo 2026

Agradecimientos

A mis padres Sonia Isidra López Días y Mario Becerril Barrientos por estar siempre apoyándome durante este largo procesos de crecimiento profesional, por sus consejos, ánimos, que fueron parte fundamental para alcanzar el éxito de este proyecto.

A mi pareja Admmin por su gran apoyo y compañía durante mi proceso de aprendizaje y formación.

Al TEST, maestros y tutores que fueron parte fundamental para que el proyecto se realizara de la mejor manera

A mi amigo Abel por su amistad, consejos y apoyo que me impulsaron a no persistir

A la empresa PIDMA por abrirme las puertas hacia el sector industrial y poder llevar este proyecto acabo

A Dios por darme la saludo y oportunidad de poder culminar este proyecto, concluir mis estudios superiores

Resumen

La optimización de los tiempos de preparación en sistemas de manufactura es un factor esencial para maximizar la eficiencia operativa, especialmente en entornos con alta mixidad de productos y frecuentes cambios de lote. En este contexto, la metodología SMED se posiciona como una herramienta de ingeniería industrial de alto impacto debido a su capacidad para reducir de forma directa y cuantificable los tiempos de alistamiento, mejorando la disponibilidad cinética del equipo y la capacidad de respuesta del sistema productivo. En los centros de maquinado analizados, los tiempos de set-up alcanzaban hasta dos horas, generando estrangulamientos operativos, sobrecostos y afectaciones al cumplimiento de ventanas de entrega. El diagnóstico técnico identificó causas estructurales como una distribución espacial ineficiente, ausencia de estandarización procedimental y un bajo nivel de cumplimiento de 5'S, factores que ocasionaban pérdidas temporales, variabilidad y una reducción significativa en la eficiencia global del proceso. Con base en ello, se estableció como objetivo disminuir en nueve por ciento el tiempo de configuración mediante la implementación de SMED en los centros de maquinado CNC. La metodología empleada incluyó un análisis audiovisual longitudinal de cinco ciclos de cambio de modelo, segmentados para identificar tareas internas, externas y periodos de inactividad. Con esta información se definieron indicadores clave y se diseñó un plan de intervención enfocado en convertir actividades internas a externas, reconfigurar el área de trabajo, reforzar 5'S y desarrollar un procedimiento operativo estandarizado apoyado con capacitaciones técnicas. Tras la implementación, el tiempo promedio de set-up disminuyó de 87.22 a 69.96 minutos, logrando una reducción de 17.26 minutos respecto al estado inicial. Esta mejora superó la meta planteada, estabilizó el proceso y aumentó la disponibilidad operativa del equipo. En

síntesis, SMED demostró ser una metodología robusta para optimizar los cambios de lote y fortalecer la competitividad de la organización.

Palabras clave: Eficiencia operativa, set-up, Mejora continua, SMED, Estandarización, Centros de maquinado CNC

Abstract

Optimizing setup times in manufacturing systems is essential for maximizing operational efficiency, especially in environments with high product mix and frequent batch changes. In this context, the SMED methodology is positioned as a high-impact industrial engineering tool due to its ability to directly and measurably reduce setup times, improving the kinetic availability of equipment and the responsiveness of the production system. In the machining centers analyzed, setup times reached up to two hours, causing operational bottlenecks, cost overruns, and impacts on delivery window compliance. The technical diagnosis identified structural causes such as inefficient spatial distribution, lack of procedural standardization, and low compliance with 5's principles, factors that caused temporary losses, variability, and a significant reduction in the overall efficiency of the process. Based on this, a target was set to reduce setup time by nine percent through the implementation of SMED in CNC machining centers. The methodology employed included a longitudinal audiovisual analysis of five model change cycles, segmented to identify internal and external tasks and periods of inactivity. With this information, key indicators were defined and an intervention plan was designed focused on converting internal activities to external ones, reconfiguring the work area, reinforcing 5's, and developing a standardized operating procedure supported by technical training. After implementation, the average set-up time decreased from 87.22 to 69.96 minutes, achieving a reduction of 17.26 minutes compared to the initial state. This improvement exceeded the target set, stabilized the process, and increased the operational availability of the equipment. In summary, SMED proved to be a robust methodology for optimizing batch changes and strengthening the organization's competitiveness.

Keywords: Operational efficiency, setup, Continuous improvement, SMED,
Standardization, CNC machining centers

Índice de contenido

CAPITULO I	9
INTRODUCCIÓN	10
PROBLEMÁTICA	12
JUSTIFICACIÓN	14
OBJETIVO GENERAL	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
ALCANCES	18
CAPÍTULO 2	20
ESTADO DEL ARTE	20
CAPÍTULO 3	33
MARCO TEÓRICO	33
CAPÍTULO 4	39
METODOLOGÍA	39
CAPÍTULO 5	45
RESULTADOS	45
CAPÍTULO 6	58
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	58
CAPÍTULO 7	63
CONCLUSIONES	63

GLOSARIO	74
REFERENCIAS.....	76

Índice de Tablas

Tabla 1 Artículos analizados.....	22
Tabla 2 Lista de actividades antes de SMED	48
Tabla 3 Antes y después de la metodología 5's	50
Tabla 4 Actividades que permanecen como internas después del análisis de SMED	54

Índice de figuras

Figura 1 Diagrama de metodología a aplicar.....	42
Figura 2 Organigrama de equipo colectivo transfuncional.....	46
Figura 3 fotografías sacadas de los videos.	47
Figura 4 Formato para el registro de actividades y tiempos de operaciones.....	47
Figura 5 presentación de la metodología 5's	48
Figura 6 Toma de tiempo de set up antes de SMED.....	48
Figura 7 Plantilla de Excel para toma de decisión.....	50
Figura 8 Platica de la implementación de la metodología SMED.....	53
Figura 9 Toma de tiempos de set up después de implementar SMED	53
Figura 10 Tiempo promedio antes y después de SMED	55

CAPITULO I

En este capítulo se presenta el contexto general de la investigación, abordando la importancia de la reducción de tiempos de preparación en los sistemas de manufactura actuales. Se describe la problemática identificada en los centros de maquinado CNC de la empresa objeto de estudio, así como la justificación del proyecto y su relevancia para mejorar la eficiencia operativa. Asimismo, se establecen el objetivo general, los objetivos específicos y los alcances de la investigación, los cuales orientan el desarrollo del estudio y la implementación de la metodología SMED como estrategia para reducir los tiempos de set-up y mejorar la disponibilidad del equipo.

INTRODUCCIÓN

Dentro del ámbito industrial, la metodología SMED (Single Minute Exchange of Die) se reconoce como una de las estrategias más efectivas para la reducción de los tiempos de cambio o preparación de maquinaria, conocidos como set-up (Sánchez et al., 2025). A diferencia de otras herramientas de mejora continua, SMED se enfoca específicamente en minimizar las actividades que requieren detener la máquina, permitiendo realizar los cambios de lote de manera más rápida y eficiente, así como incrementar el tiempo productivo y reducción de tiempos de cambio en máquinas CNC (Hys y Domagala, 2021; Guadalupe, 2024; Sánchez et al., 2025).

La importancia de SMED radica en su impacto directo sobre la eficiencia operativa, la disponibilidad de equipos y el cumplimiento de plazos de entrega, aspectos críticos en entornos de producción con alta mixidad de productos y cambios frecuentes de lote. La selección de esta metodología se fundamenta en su capacidad de generar mejoras medibles

en tiempos de set-up, lo que contribuye a la reducción de costos y al incremento de la competitividad de la organización.

En este proyecto, se plantea intervenir el proceso de cambio de lote con el objetivo de reducir en un mínimo del 9% los tiempos de set-up. Para ello, se realizará un análisis detallado del flujo actual de trabajo, identificando las actividades internas que prolongan el tiempo de preparación y determinando cuáles pueden optimizarse mediante la aplicación de SMED. De manera complementaria, se considerará la reorganización del área, la estandarización de procedimientos y el apoyo de herramientas Lean, como 5's, para mejorar la eficiencia y reducir los tiempos improductivos.

La implementación de SMED permitirá no solo disminuir los tiempos de preparación de maquinaria, sino también incrementar la disponibilidad de los equipos, estabilizar el flujo de producción y fortalecer la capacidad de respuesta ante la demanda de lotes pequeños y variados. Esta intervención establece un marco metodológico preciso para la mejora continua y sienta las bases para la estandarización y optimización de procesos críticos dentro de la empresa.

PROBLEMÁTICA

En los entornos actuales de manufactura, caracterizados por alta variabilidad de productos y exigencias crecientes de los clientes en términos de calidad, costo y tiempo de entrega, la reducción de tiempos improductivos se convierte en un factor estratégico para la competitividad organizacional. En este contexto, los tiempos de preparación o cambio de lote (set-up) en los centros de maquinado CNC representan una de las principales fuentes de pérdida operativa.

En la empresa objeto de estudio, el tiempo promedio de set-up registrado es de 87.22 minutos por cambio de lote, valor que supera los parámetros deseables para operaciones con múltiples referencias y producción por lotes pequeños. Esta situación impacta directamente en la disponibilidad de los equipos, genera cuellos de botella en la programación de la producción y limita la capacidad de respuesta ante variaciones en la demanda.

El diagnóstico situacional permitió identificar tres factores críticos que contribuyen a la prolongación de los tiempos de preparación:

Distribución ineficiente del área de trabajo y del almacén de herramientas, lo que obliga a los operadores a realizar desplazamientos innecesarios durante el proceso de cambio, incrementando tiempos improductivos.

Ausencia de estandarización del procedimiento de set-up, provocando que cada operador ejecute las actividades de preparación según su propio criterio, generando variabilidad en los tiempos y falta de control del proceso.

Aplicación insuficiente de la metodología 5's, reflejada en desorden, deficiente clasificación de herramientas y registros poco estructurados, lo que dificulta la localización inmediata de dispositivos, insertos y accesorios necesarios para el cambio.

Estas condiciones evidencian la existencia de desperdicios asociados a movimientos innecesarios, tiempos de espera y sobre procesamiento, los cuales afectan la eficiencia global del sistema productivo. La prolongación de los tiempos de cambio no solo incrementa los costos operativos, sino que reduce la disponibilidad de los equipos, afectando indicadores clave de desempeño como la utilización de la capacidad instalada y el cumplimiento del programa de producción.

Si esta problemática no es atendida mediante una metodología estructurada, la organización continuará enfrentando pérdidas de productividad, menor flexibilidad operativa y riesgo de incumplimiento en los tiempos de entrega comprometidos con los clientes.

Ante este escenario, surge la necesidad de implementar la metodología SMED, la cual permite separar actividades internas y externas, convertir operaciones internas en externas y reducir sistemáticamente los tiempos de preparación. Asimismo, el soporte de la metodología 5'S se vuelve fundamental para garantizar orden, disciplina y estandarización en el área de trabajo, facilitando la sostenibilidad de las mejoras.

Por lo tanto, la presente investigación se orienta a evaluar el impacto de la implementación de SMED, apoyada en 5's, sobre la reducción del tiempo de set-up y el incremento de la disponibilidad en los centros de maquinado CNC, como estrategia para fortalecer la eficiencia operativa y la competitividad empresarial.

JUSTIFICACIÓN

La reducción de tiempos de preparación en entornos de manufactura ha sido ampliamente estudiada debido a su impacto directo en la disponibilidad de los equipos y en la competitividad organizacional. Diversas investigaciones han demostrado que la aplicación de la metodología SMED permite disminuir significativamente los tiempos de set-up y mejorar indicadores operativos clave.

Estudios aplicados en máquinas CNC evidencian reducciones sustanciales en los tiempos de cambio. Por ejemplo, Guadalupe (2024) reporta un incremento de horas productivas de 82 a 134 horas por semana tras la implementación de SMED, mientras que Sujová y Vysloužilová (2025) documentan una disminución del 57% en el tiempo de cambio en una máquina CNC. De manera similar, de Freitas Menecucci et al. (2024) alcanzaron una reducción del 88% en el tiempo de configuración, incrementando la disponibilidad del equipo.

En investigaciones donde SMED se complementa con otras herramientas de mejora continua, también se observan impactos significativos. Guzel y Asiabi (2020) reportan reducciones cercanas al 60% en tiempos de configuración mediante la integración de SMED y 5's, mejorando además la organización del área de trabajo. Asimismo, Baldeón Calderón y Bonifaz Tipacti (2024) evidencian mejoras sustanciales en el OEE de equipos CNC, incrementándolo del 36.10% al 78.43% mediante la aplicación combinada de SMED, TPM y estandarización del trabajo.

Sin embargo, el análisis crítico de la literatura revela brechas relevantes. La mayoría de los estudios se concentran en una sola máquina, una sola pieza o una línea específica de producción, sin abordar escenarios de alta mixidad de productos ni evaluar la

implementación de SMED a nivel de área completa de maquinado. Asimismo, varios trabajos se enfocan en la reducción del tiempo de set-up, pero no profundizan en su impacto directo sobre la disponibilidad global del equipo o en indicadores integrales como el OEE.

En este sentido, aunque la evidencia científica respalda la efectividad de SMED en la reducción de tiempos de cambio, persiste la necesidad de estudios aplicados en centros de maquinado CNC que integren la estandarización mediante 5'S, evalúen el impacto sobre la disponibilidad del área y analicen el efecto en contextos con múltiples referencias de producto.

Por lo anterior, la presente investigación se justifica al contribuir con evidencia empírica en un entorno real de manufactura metalmecánica, abordando no solo la reducción del tiempo de set-up, sino también su impacto en la disponibilidad del equipo y en la eficiencia operativa del área de maquinado. Además, al incorporar 5'S como soporte estructural del proceso, se busca garantizar la sostenibilidad de las mejoras y fortalecer la cultura organizacional orientada a la mejora continua.

OBJETIVO GENERAL

Reducir los tiempos de configuración por cambio de lote en un 9% mediante la implementación de la metodología SMED (Single Minute Exchange of Die) en los procesos de los centros de maquinado CNC.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar el proceso actual de cambio de modelo en los centros de maquinado CNC mediante observación directa y toma de tiempos, para identificar las principales fuentes de pérdida de tiempo.

Clasificar las actividades identificadas en tareas internas y externas, utilizando los principios de la metodología SMED y apoyándose en diagramas de flujo para representar el proceso.

Diseñar e implementar propuestas de mejora orientadas a convertir tareas internas en externas y eliminar actividades que no agregan valor al proceso, siguiendo los lineamientos de SMED.

Apoyar la implementación de SMED mediante la aplicación de la metodología 5's en el área de preparación y alistamiento de herramientas, asegurando la disponibilidad, orden y buen estado de los recursos necesarios durante los cambios de lote.

Estandarizar el proceso de cambio de lote, mediante la creación de formatos de control y listas de verificación que faciliten la ejecución y el monitoreo de las actividades.

Evaluar la efectividad de las mejoras implementadas, comparando los tiempos de cambio antes y después de la aplicación de la metodología SMED, y establecer acciones de mejora continua.

ALCANCES

La presente investigación se enfoca en la implementación de la metodología SMED en los centros de maquinado CNC del área de producción de la empresa objeto de estudio, con el propósito de reducir los tiempos de preparación (set-up) y mejorar la disponibilidad operativa de los equipos.

El alcance técnico del proyecto comprende:

El análisis y medición de los tiempos de cambio de lote antes y después de la intervención.

La identificación y clasificación de actividades internas y externas del proceso de set-up.

La conversión de actividades internas a externas cuando sea técnicamente viable.

La estandarización del procedimiento de cambio de modelo.

La implementación de la metodología 5's como soporte para garantizar orden, organización y sostenibilidad de las mejoras.

La evaluación del impacto en indicadores operativos como tiempo promedio de set-up y disponibilidad del equipo.

El estudio se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo con diseño pretest–posttest, permitiendo comparar los resultados obtenidos antes y después de la implementación.

En términos organizacionales, el proyecto se limita al área de maquinado CNC y no contempla modificaciones estructurales mayores, adquisición de nueva maquinaria ni rediseño completo del sistema productivo. Asimismo, no se evalúan variables externas

como demanda del mercado, planificación global de la producción o desempeño financiero integral de la empresa.

Por tanto, los resultados obtenidos reflejan el impacto directo de la implementación de SMED y 5's en el proceso de cambio de modelo dentro del área estudiada, constituyendo una propuesta replicable en entornos productivos con características similares.

CAPÍTULO 2

ESTADO

DEL ARTE

En este capítulo se presenta el estado del arte relacionado con la aplicación de la metodología SMED en distintos entornos industriales. Se analizan investigaciones previas enfocadas en la reducción de tiempos de cambio de modelo, mejora de la disponibilidad de equipos y optimización de procesos productivos mediante herramientas de manufactura esbelta. A través de la revisión de literatura científica y trabajos aplicados, se identifican los principales resultados obtenidos en estudios similares, así como las brechas existentes en la investigación, lo cual permite fundamentar la necesidad del presente estudio en centros de maquinado CNC.

Tabla 1 Artículos analizados.

Referencia	Objetivo de la Investigación	Metodología y Herramientas	Resultado Principal	Brecha
(Guadalupe, 2024). <i>Implementación de la metodología SMED para la reducción de tiempos de cambio de modelo en máquinas CNC de una empresa de dispositivos electrónicos.</i>	Incrementar tiempo productivo y reducir tiempo de cambio de modelos en máquinas CNC.	Implementación de SMED en una máquina CNC de la empresa; análisis de horas productivas antes y después.	Reducción de tiempos de cambio, aumento de horas productivas de 82 a 134 h/semana, mejora económica estimada de \$1,463.28 USD/semana.	Estudio realizado en una sola empresa; no analiza diferentes tipos de máquinas CNC ni alta mixidad de productos.
Delgado-Antonio, A., Sanchez-Cabrera, J., & Salas, R. (2022). Model to reduce project delivery times by applying TPM and SMED: Case study in a metalworking company. <i>In Proceedings of the 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology: "Education, Research and Leadership in Post-pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions"</i> .	Incrementar disponibilidad de máquinas y mejorar entregas de proyectos combinando SMED y TPM.	Simulación de procesos en torno y granalladora; aplicación de modelo SMED + TPM.	OTD mejora de 66.67% → 75%; disponibilidad aumenta 7.8–10.1%.	No es un estudio directo de SMED en CNC; simulación y no implementación real; no analiza alta mixidad de productos.

Referencia	Objetivo de la Investigación	Metodología y Herramientas	Resultado Principal	Brecha
Hys, K., & Domagała, A. (2021). Application of the SMED method for improving the CNC machine workplace production process in the scope of "waiting" MUDA. <i>Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska</i> , (151), 239-252.	Analizar y reducir los tiempos de cambio en máquinas CNC mediante SMED.	Aplicación de SMED en máquinas CNC; reorganización de estaciones de trabajo; uso de lectores de códigos de barras.	Reducción >20% en tiempos de cambio; hasta 61% en una máquina; incremento de 22.8 h/año de disponibilidad.	Estudio en máquinas seleccionadas; baja frecuencia de cambios; no analiza alta mixidad ni implementación a nivel de área.
Sujová, E., & Vysloužilová, D. (2025). Proposal for Streamlining the CNC Machine Changeover Process Through the Application of the SMED Method. <i>Management Systems in Production Engineering</i> .	Optimizar el proceso de cambio de máquina CNC mediante SMED.	Análisis de video; clasificación de actividades internas y externas; estandarización del cambio.	Reducción del tiempo de cambio de 207 a 89 min ($\approx 57\%$); mejora en utilización de la máquina.	Estudio en una sola máquina CNC; no aborda alta mixidad ni implementación a nivel de área.
de Freitas Menecucci, D. A., Florido, W. G., do Amaral, F. R., da Silva Richetto, K. C., & da Silva Richetto, M. R. (2024). Reduction in setup time for the POLO part on the MAUSA B CNC machine.	Reducir el tiempo de setup y aumentar la productividad en una máquina CNC mediante SMED.	Aplicación del método SMED; planeación de actividades; preparación externa; estandarización.	Reducción del 88% del tiempo de configuración; aumento de disponibilidad y reducción de desperdicio.	Estudio centrado en una sola pieza y máquina; no analiza alta mixidad ni aplicación en un área completa.

Referencia	Objetivo de la Investigación	Metodología y Herramientas	Resultado Principal	Brecha
Ríos Novoa, P. M., & Romero Huaranga, F. J. (2024). <i>Implantación de TPM y SMED para incrementar la disponibilidad de máquinas en la fabricación de piezas mecánicas de una empresa del sector metalmecánico.</i>	Incrementar la disponibilidad de máquinas CNC en el área de mecanizado.	Implementación de SMED y pilares TPM (mejora enfocada, mantenimiento autónomo y planificado); toma de tiempos de paradas.	Disponibilidad aumenta de 56% a 91%; incremento del 35%; ahorro de S/. 3,059,712 y ROI de 9.5 meses.	SMED no se analiza de forma aislada; enfoque en disponibilidad más que en tiempos de setup detallados; no considera alta mixidad de productos.
Salvador, C. A. (2022). <i>Reducir tiempos de preparación y retrasos en entrega de tableros en la empresa metalmecánica Fimmex de la zona centro de estado de Veracruz.</i>	Reducir los tiempos de preparación de máquinas CNC y mejorar la capacidad de respuesta a clientes.	Implementación de SMED en 4 fases: separar, optimizar, convertir y estandarizar; medición y validación estadística.	Reducción de tiempo de preparación: 73.17 → 31.93 min (56.36%); aumento de flexibilidad y capacidad de respuesta.	Estudio de una sola empresa y área; no considera mixidad de productos ni impacto económico completo.
Barrera Santiago, I. G. (2024). <i>Implementación de la metodología SMED para la reducción de tiempos de cambio de modelo en máquinas CNC de una empresa de dispositivos electrónicos.</i>	Incrementar tiempo productivo/disponible de máquinas CNC mediante SMED.	Implementación de SMED; medición de disponibilidad y análisis de tiempo de cambio.	Disponibilidad aumentó de 82 → 134 horas/semana; 52 horas adicionales recuperadas; mejora en eficiencia del área CNC.	Estudio aplicado a una sola máquina y empresa; no analiza diferentes tipos de máquinas ni productos.

Referencia	Objetivo de la Investigación	Metodología y Herramientas	Resultado Principal	Brecha
Guzel, D., & Asiabi, A. S. (2020). <i>Improving setup time by using SMED and 5's: An application in SMEs.</i>	Reducir los tiempos de configuración en PYMES del sector de mecanizado metálico para incrementar la flexibilidad productiva, reducir costos y responder a pedidos de bajo volumen y alta variedad.	Aplicación de SMED, 5's y Kaizen. Grabación en video del estado actual del setup, análisis y separación de tiempos internos y externos, conversión de tiempos internos a externos, estandarización de procedimientos y organización ergonómica de herramientas.	Reducción aproximada del 60% en los tiempos de configuración y 50% en los pasos de cambio de herramienta, además de mejoras en ergonomía, orden del área de trabajo y estandarización de cambios.	El estudio no cuantifica el impacto de la reducción del setup en indicadores de desempeño global como disponibilidad, OEE o productividad total. Tampoco analiza el efecto de SMED en máquinas CNC específicas ni su relación con la planeación de producción o la eficiencia a nivel sistema.
Bravo López, K. (2025). <i>Propuesta de mejora de la productividad utilizando herramientas de manufactura esbelta 5's y SMED en la planta metalmecánica de la empresa Brahmco S.A.C., Lima 2024.</i>	Mejorar la productividad de una planta metalmecánica mediante la identificación y eliminación de actividades que no agregan valor, enfocándose en la reducción de tiempos de preparación y en la organización del área de trabajo.	Enfoque de manufactura esbelta. Aplicación de 5's para organización y control del área de trabajo y SMED para la reducción de tiempos de preparación de maquinaria. Análisis de procesos, medición de tiempos y evaluación de	Reducción del 42.37% en el tiempo total de fabricación mediante 5's y reducción del 65.48% en los tiempos de preparación de máquina mediante SMED, logrando un incremento significativo en la productividad de la planta.	No analiza de manera explícita el impacto de SMED en la disponibilidad de las máquinas ni en indicadores formales como OEE. El estudio se centra en productividad, sin profundizar en la relación directa entre reducción de setup y disponibilidad

Referencia	Objetivo de la Investigación	Metodología y Herramientas	Resultado Principal	Brecha
		productividad de mano de obra y maquinaria.		operativa en centros de maquinado CNC.
Ramírez Ponce, L. G., & Suárez Carpio, C. R. (2019). <i>Incremento de la disponibilidad de una línea de producción en una compañía que procesa tubos de acero.</i>	Incrementar el porcentaje de disponibilidad de una línea de producción de tubos de acero, mejorando la eficiencia y reduciendo tiempos muertos.	Metodología DMAIC, herramientas SMED (para cambios de matricería), 5's, gestión visual, hoja digital para reportes de producción, etiquetado de carro de herramientas.	Reducción de los tiempos de cambio de producto en 40 minutos, disminución de tiempos de registro en 15,75 minutos, mejora en búsqueda de herramientas de 15 a 6 minutos, incremento de la productividad equivalente a 45,70 toneladas/mes.	No se analiza específicamente la disponibilidad en máquinas CNC ni el efecto de SMED sobre indicadores globales como OEE; el enfoque es en línea de producción general. Además, no se profundiza en la estandarización del procedimiento de cambio ni en su impacto económico detallado por máquina.
Becerril Rosales, I., & Martínez Gabino, R. A. (2025). <i>Implementación del SMED para reducir el tiempo de ajuste en máquinas CNC.</i>	Reducir el tiempo de ajuste en máquinas CNC para aumentar la productividad, eficiencia y flexibilidad operativa.	Metodología SMED, soporte con 5's, herramientas de documentación como diagramas de flujo y videograbación, estandarización de	Reducción del tiempo de ajuste en un 25% (de 120 a 90 minutos), conversión de 19 actividades internas a externas, aumento de producción de 25	No se analiza la disponibilidad global de la máquina ni indicadores tipo OEE; tampoco se cuantifica el impacto económico directo de

Referencia	Objetivo de la Investigación	Metodología y Herramientas	Resultado Principal	Brecha
		operaciones y auditorías.	piezas diarias, mejora en la calidad, flexibilidad y aprovechamiento del espacio.	la mejora en toda la línea de maquinado.
Baldeon Calderon, R. N., & Bonifaz Tipacti, J. C. F. (2024). <i>Modelo para mejorar la eficiencia global de equipos CNC en una PYME metalmecánica utilizando TPM, SMED y estandarización del trabajo.</i>	Incrementar la eficiencia global de equipos (OEE) y reducir tiempos de setup en máquinas CNC de una PYME metalmecánica.	Herramientas SMED, TPM, Estandarización del trabajo, apoyo con 5's, mantenimiento autónomo y planificado, seguimiento de capacitaciones.	OEE aumentó 42.33% (de 36.10% a 78.43%), tiempo de setup reducido 57.56 minutos (de 87.49 a 29.93 min), MTTR reducido de 468 a 171.48 min, MTBF aumentado en 26.95%, productividad incrementada a 8 und/h, proyecto económicamente viable (VAN positivo).	No se analiza el impacto directo sobre la disponibilidad total de la línea ni la efectividad global del área de maquinado, aunque sí mejora indicadores de OEE y productividad. Además, la optimización de costos y tiempos se concentra en un escenario de PYME, por lo que podría requerir adaptación para industrias mayores.

Referencia	Objetivo de la Investigación	Metodología y Herramientas	Resultado Principal	Brecha
Chipantiza Ganan, D. J. (2017). <i>Gestión de la producción para reducir desperdicios de tiempo del proceso de armado utilizando la metodología de cambio rápido de herramientas (SMED) en industrias de manufactura de calzado de cuero.</i>	Analizar y reducir los tiempos de preparación de lotes y máquinas en la producción de calzado de cuero mediante SMED, aumentando la capacidad de producción.	Metodología SMED, estandarización de actividades internas, instructivo de operaciones, diagramas hombre-máquina.	Reducción de tiempos de preparación >50%, aumento de producción diaria, eficiencia del proceso mejorada entre 1.8% y 10.3% según la operación, eliminación de transporte innecesario de operarios.	No se evalúa el impacto económico directo ni la flexibilidad del sistema de producción frente a cambios de modelo; tampoco se cuantifica el efecto en productividad total de la línea.
Pertuz Rodríguez, A. J. (2018). <i>Implementación de la metodología (SMED) para la reducción de tiempos de alistamiento (Set Up) en máquinas encapsuladoras de una empresa farmacéutica en Barranquilla.</i>	Reducir los tiempos de alistamiento de máquinas encapsuladoras para aumentar la disponibilidad y capacidad de producción.	Metodología SMED, filmación y análisis de actividades, diagramas de espaguetti, segregación de actividades internas y externas, plan de acción con herramienta 3W.	Reducción de tiempo de alistamiento de 240 min a 150 min (4 h → 2.5 h), mayor disponibilidad de la máquina, estandarización del proceso y disminución de desperdicios de tiempo muertos.	No se analiza el efecto sobre la productividad global de la planta ni la optimización de costos de producción; la metodología se centra solo en alistamientos individuales.

Referencia	Objetivo de la Investigación	Metodología y Herramientas	Resultado Principal	Brecha
Olivera Sánchez, M., Olguín De la Vega, C. A., Cruz Pérez, M. Á., & Zamora Antuñano, M. A. (2025). <i>Diseño de método de reducción de tiempos de fabricación de autopartes mediante la aplicación del SMED.</i>	Optimizar la fabricación de anillos (vane rings) mediante reducción de tiempos de cambio de modelo y mejora de eficiencia de la línea de producción.	Metodología SMED, identificación de operaciones internas y externas, rediseño del proceso, preconfiguración de herramientas, disposición estratégica de repuestos y optimización de secuencias de trabajo.	Reducción de tiempos de cambio de modelo 35%, aumento de producción 15%, disminución de costos asociados a tiempos muertos, mejora de la flexibilidad y cultura de mejora continua.	No se detallan indicadores de productividad o eficiencia por máquina, ni análisis de impacto económico específico; la cuantificación de tiempo ahorrado en horas/minutos requiere mayor precisión.
Villacrés Rosado, C. A. (2022). <i>Implementación de la metodología SMED para reducir los tiempos de cambio de formato en una línea envasadora de detergente.</i>	Reducir el tiempo promedio de cambio de formato en línea de envasado de detergente para mejorar eficiencia y ahorro de costos.	SMED + DMAIC + herramienta ECRS + análisis de causas raíz con 5 porqués.	Reducción de 139 min → 111 min en cambio de formato (28 min menos), incremento de eficiencia 2.16%, ahorro anual \$4300, reducción de carga de trabajo de operadores 6%.	El impacto en productividad global de la planta no se analiza; limitado a una línea de producción específica.

Referencia	Objetivo de la Investigación	Metodología y Herramientas	Resultado Principal	Brecha
Millán, É. A., & Silvestre Suárez, J. C. (2020). <i>Propuesta para la implementación de la metodología SMED en los procesos de limpieza y desinfección de máquinas de secado.</i>	Reducir tiempos de paros programados por aseo y limpieza en máquinas de secado para mejorar productividad.	SMED + análisis de actividades internas/externas + diagramas causa-efecto + análisis costo-beneficio.	Reducción de tiempos de aseo, aumento de productividad, mejora económica con baja tasa de retorno de inversión.	No se cuantifica el ahorro en tiempo por hora-máquina ni impacto en eficiencia general del proceso productivo.
Arcos Guzmán, J. E. (2021). <i>Propuesta de reducción del tiempo de cambio de molde de troquel mediante la metodología SMED en la línea FWS.</i>	Reducir tiempos de cambio de molde para optimizar producción y aumentar OEE en la línea FWS.	SMED + simulación CATIA V5 + diseño de almacén de troqueles + segmentación actividades internas/externas.	Reducción estimada de 80% en tiempo de cambio de molde, incremento de demanda cubierta 20%, ahorro anual de producción.	La propuesta es principalmente de diseño y simulación; requiere validación práctica en planta.
Bocanegra Sueldo, J. F., & De La Vega Yañe, E. (2023). <i>Aplicación de metodología SMED en una empresa del sector de empaques flexibles.</i>	Mejorar disponibilidad del proceso de impresión mediante reducción de tiempos de SETUP.	SMED + simulación Arena + migración de actividades internas a externas + PDCA.	Reducción de tiempo de SETUP de 231 min → 80 min (65%), incremento de disponibilidad de 31% → 54%, VAN USD 37,519, TIR 46%.	Requiere seguimiento constante de actividades externas para garantizar sostenibilidad del proyecto.
Chávez Salazar, R. (2023). <i>Mejora de tiempo en cambio de troquel "TRANSFER 1500".</i>	Optimizar tiempo de cambio de troquel para aumentar eficiencia operativa y flexibilidad de la línea.	SMED + estandarización de procedimientos + capacitación de personal + medición de KPIs.	Reducción de tiempos de cambio >25%, incremento de productividad y capacidad de respuesta, superación de resistencia al	Limitación por resistencia al cambio; no todos los operadores adoptan mejoras uniformemente.

Referencia	Objetivo de la Investigación	Metodología y Herramientas	Resultado Principal	Brecha
			cambio de operadores.	
Domínguez Echeverría, A. B. (2020). <i>Aplicación de la metodología SMED en procesos de conformado de Ecuamatrix Cía. Ltda.</i>	Reducir tiempos de cambio de matrices y aumentar capacidad de producción en procesos de conformado.	SMED + estudio de tiempos y movimientos + VSM + 5's + simulación FlexSim.	Reducción promedio de tiempo de preparación 66.29%, aumento de capacidad de producción 28.91%, mejora en flexibilidad y competitividad.	Simulación basada en promedios; impacto en variabilidad de lotes pequeños requiere análisis adicional.
Díaz Jara, M. J. (2022). <i>Aplicación de la metodología SMED y la filosofía 5's para mejorar el proceso en las líneas de costura de una empresa de confecciones.</i>	Mejorar el proceso de las líneas de costura mediante SMED y 5's.	Investigación cuantitativa, diseño pre-experimental, pre-test y post test en 4 líneas de producción durante 7 meses.	Eficiencia aumentó de 56.64% → 70.54%, cumplimiento de cuota mensual de 523.14 → 570.96 unidades, reducción de horas hombre 11,400 → 10,200. Diferencias significativas confirmadas con pruebas estadísticas (T de Student y Wilcoxon).	Limitado a una empresa de confecciones; no se analiza el impacto en costos totales ni escalabilidad a otras líneas de producción.

Referencia	Objetivo de la Investigación	Metodología y Herramientas	Resultado Principal	Brecha
Cotrina Díaz, A. D. (2024). <i>Implementación de las 5's y SMED para aumentar la productividad en el área de producción de la empresa Distec, Cajamarca 2023.</i>	Determinar el impacto de SMED y 5's en la productividad del área de producción de muebles.	Enfoque cuantitativo, diseño no experimental longitudinal, análisis documental y observación de 27 pedidos no conformes.	Mejora en indicadores de 5's: clasificación 20→40%, orden 66→90%, limpieza 28→94%, estandarización 48→100%, disciplina 55→95%. SMED: disponibilidad de línea 45→89%. Aumento de productividad 40→83%. VAN S/. 8,302.50, TIR 50%, costo/beneficio 1.77.	La investigación se centra en una muestra pequeña de pedidos no conformes; falta análisis de replicabilidad a otras áreas o líneas de producción.

CAPÍTULO 3

MARCO

TEÓRICO

En este capítulo se desarrollan los fundamentos teóricos que sustentan la investigación. Se abordan los conceptos relacionados con la manufactura moderna, la reducción de tiempos improductivos y la importancia de la eficiencia operativa en sistemas productivos. Asimismo, se describen los principios y etapas de la metodología SMED, su impacto en la disponibilidad del equipo y su relación con indicadores de desempeño como el OEE. Finalmente, se analiza la integración de SMED con herramientas de manufactura esbelta como la metodología 5's, las cuales contribuyen a la estandarización de procesos y a la mejora continua dentro de los centros de maquinado CNC.

3.1 Contexto actual de la manufactura y necesidad de reducción de tiempos de preparación

Los sistemas productivos contemporáneos operan bajo condiciones de alta variabilidad de productos, reducción del tamaño de lote y exigencias crecientes en calidad, costo y tiempos de entrega. En este entorno, la disminución de tiempos improductivos se convierte en un factor determinante para mejorar la competitividad organizacional (Ohno, 1988).

Diversos autores coinciden en que los tiempos de preparación prolongados generan pérdidas asociadas a disponibilidad, utilización ineficiente de recursos y retrasos en la programación (Díaz Jara, 2022; Cotrina Díaz, 2024). En particular, en entornos de maquinado CNC, donde los cambios de modelo son frecuentes, el tiempo de set-up impacta directamente la capacidad instalada y la flexibilidad operativa.

Ante esta problemática, la metodología SMED se posiciona como una herramienta estratégica para reducir tiempos de cambio y mejorar la eficiencia productiva.

3.2 Fundamentos conceptuales de SMED

La metodología SMED fue desarrollada por Shigeo Shingo en el sistema productivo japonés con el objetivo de reducir los tiempos de cambio de herramienta a un solo dígito de minutos. Su fundamento radica en la separación sistemática de actividades internas y externas durante el proceso de preparación (Shingo, 1985).

De acuerdo con Domínguez (2020) y Pertuz (2018), las actividades internas son aquellas que solo pueden realizarse cuando la máquina está detenida, mientras que las actividades externas pueden ejecutarse con la máquina en funcionamiento. Esta distinción permite identificar oportunidades de optimización sin requerir inversiones significativas en infraestructura.

La aplicación de SMED generalmente sigue cinco etapas:

Análisis del proceso actual mediante estudio de tiempos y videograbación.

Separación de actividades internas y externas.

Conversión de actividades internas en externas.

Optimización y simplificación de operaciones.

Estandarización y seguimiento continuo.

Chávez (2023) y Cotrina Díaz (2024) destacan que la estandarización posterior a la implementación es clave para evitar regresiones en los tiempos obtenidos.

3.3 Impacto de SMED en disponibilidad y eficiencia operativa

La reducción del tiempo de set-up tiene una relación directa con la disponibilidad del equipo, uno de los componentes principales de la Efectividad Global del Equipo (OEE).

Baldeón Calderón y Bonifaz Tipacti (2024) reportaron un incremento del OEE de 36.10% a 78.43% tras aplicar SMED en máquinas CNC. De manera similar, Ríos Novoa y Romero Huaranga (2024) documentaron un incremento de disponibilidad del 56% al 91% al integrar SMED con TPM.

En estudios internacionales, Sujová y Vysloužilová (2025) lograron reducir el tiempo de cambio de 207 a 89 minutos ($\approx 57\%$), mientras que de Freitas Menecucci et al. (2024) alcanzaron reducciones de hasta 88% en tiempos de configuración en máquinas CNC.

Estos resultados evidencian que SMED no solo reduce tiempos muertos, sino que incrementa horas efectivas de producción y mejora la utilización de activos.

3.4 Integración de SMED con 5's y herramientas Lean

Aunque SMED constituye el eje central de esta investigación, su efectividad se ve fortalecida mediante la aplicación complementaria de la metodología 5's la cual promueve orden, limpieza, disciplina y estandarización en el área de trabajo.

Guzel y Asiabi (2020) reportaron reducciones cercanas al 60% en tiempos de configuración al combinar SMED y 5's, además de mejoras ergonómicas y reducción de movimientos innecesarios. Bravo López (2025) evidenció una reducción del 65.48% en tiempos de preparación al integrar ambas herramientas.

Asimismo, estudios como el de Díaz Jara (2022) confirmaron mediante pruebas estadísticas (T de Student y Wilcoxon) mejoras significativas en eficiencia tras la implementación conjunta de SMED y 5's.

La estandarización derivada de 5's facilita la ejecución uniforme de actividades internas y externas, reduciendo la variabilidad entre operadores y fortaleciendo la sostenibilidad de las mejoras.

3.5 Aplicación de SMED en centros de maquinado CNC

La literatura muestra múltiples aplicaciones de SMED en entornos industriales; sin embargo, en el caso específico de centros de maquinado CNC, la mayoría de los estudios presentan ciertas limitaciones.

Guadalupe (2024) y Barrera Santiago (2024) documentan incrementos de horas productivas semanales en máquinas CNC tras la implementación de SMED, pero sus estudios se centran en una sola máquina. Hys y Domagała (2021) reportan reducciones superiores al 20% en tiempos de cambio, aunque aplicadas en máquinas seleccionadas y con baja frecuencia de cambios.

Salvador (2022) logró una reducción del 56.36% en tiempos de preparación en máquinas CNC; sin embargo, el estudio no aborda escenarios de alta mixidad de productos ni analiza el impacto sistémico en un área completa.

En este sentido, la revisión de antecedentes evidencia que, aunque SMED ha demostrado efectividad en la reducción de tiempos de set-up, persisten brechas relacionadas con:

Implementaciones a nivel de área completa de maquinado.

Evaluación del impacto en disponibilidad global del área.

Análisis en contextos con múltiples referencias de producto.

Integración estructurada con 5's como soporte metodológico.

3.6 Síntesis del marco teórico y aporte de la investigación

El análisis conceptual y empírico realizado confirma que SMED es una metodología eficaz para reducir tiempos de cambio y mejorar indicadores operativos. No obstante, la mayoría de las investigaciones se enfocan en casos aislados o en máquinas individuales, con escaso análisis sistémico en áreas completas de maquinado CNC.

Por lo tanto, la presente investigación aporta evidencia aplicada en un entorno real de producción metalmecánica, evaluando el impacto de la implementación de SMED apoyada en 5's sobre el tiempo de set-up y la disponibilidad del área CNC, contribuyendo al fortalecimiento del conocimiento aplicado en ingeniería industrial.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA

En este capítulo se describe la metodología empleada para el desarrollo del proyecto, así como el diseño de investigación utilizado para evaluar el impacto de la implementación de SMED. Se detalla el tipo de estudio, el enfoque metodológico, la población y muestra seleccionadas, así como el procedimiento seguido para el diagnóstico del proceso actual de set-up. Además, se explican las etapas de aplicación de la metodología, la definición de indicadores clave de desempeño y las herramientas utilizadas para la recopilación y análisis de datos durante el proceso de mejora.

4.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que busca resolver un problema real dentro de un entorno industrial mediante la implementación de una metodología específica de mejora continua.

El enfoque es cuantitativo, debido a que se basa en la medición y análisis estadístico de tiempos de preparación (set-up), comparación de indicadores antes y después de la intervención y evaluación numérica del desempeño del proceso.

Asimismo, el estudio posee un carácter cuasi-experimental, con diseño de tipo pretest–posttest sin grupo de control, dado que se realizó una medición inicial del proceso (condición actual), posteriormente se aplicó la metodología SMED, y finalmente se evaluaron los resultados obtenidos tras la implementación.

4.2 Diseño de investigación

El diseño metodológico corresponde a un diseño longitudinal comparativo, ya que se analizaron los tiempos de set-up en dos momentos distintos:

- Fase 1: Diagnóstico inicial (situación actual).

- Fase 2: Evaluación posterior a la implementación de SMED.

La comparación entre ambos escenarios permitió determinar el impacto de la metodología en la reducción del tiempo de cambio de modelo y en la mejora de la disponibilidad del equipo.

El estudio se desarrolló bajo un enfoque de mejora continua estructurado en cinco etapas secuenciales alineadas con la metodología SMED.

4.3 Población y muestra

Población

La población de estudio estuvo conformada por:

- Todos los cambios de modelo realizados en el centro de maquinado CNC seleccionado.
- El personal involucrado en el proceso de set-up (operadores, mantenimiento, calidad y producción).

Muestra

Se seleccionó como muestra:

- 15 días laborales consecutivos para la medición inicial del set-up.
- 15 días laborales posteriores a la implementación de mejoras.

El muestreo fue de tipo no probabilístico por conveniencia, debido a que se trabajó con los cambios de modelo programados durante el periodo del proyecto.

4.4 Procedimiento

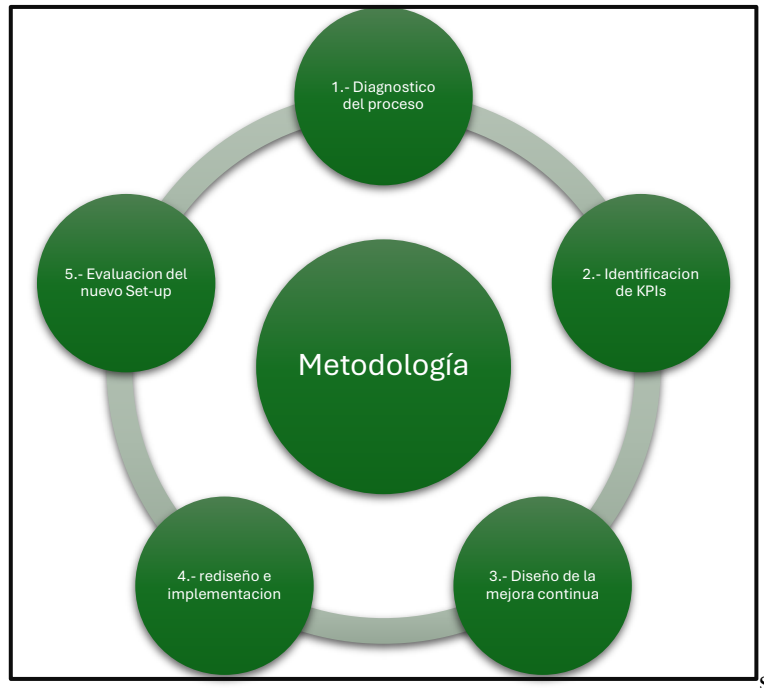


Figura 1 Diagrama de metodología a aplicar

La metodología se desarrolló en cinco etapas estructuradas:

4.4.1 Etapa 1. Diagnóstico del proceso actual

Se conformó un equipo transfuncional integrado por personal de producción, mantenimiento, calidad y operadores.

Las actividades realizadas fueron:

- Grabación en video del proceso completo de cambio de modelo.
- Análisis cuadro a cuadro para identificar cada actividad.
- Secuenciación de tareas.
- Cronometraje individual de actividades.
- Registro de tiempos durante 15 días laborales.
- Evaluación de la disposición física de herramientas y materiales.
- Sensibilización del personal mediante capacitación introductoria sobre 5'S.

4.4.2 Etapa 2. Identificación y definición de indicadores (KPIs)

Se clasificaron las actividades en:

- Actividades internas (requieren máquina detenida).
- Actividades externas (pueden ejecutarse con máquina en operación).

A partir de esta clasificación se definieron los siguientes indicadores clave:

- Tiempo total de set-up.
- Porcentaje de actividades internas.
- Porcentaje de conversión de actividades internas a externas.
- Disponibilidad del equipo.

4.4.3 Etapa 3. Diseño de la mejora

Se elaboró un diagrama de flujo del proceso actual para:

- Identificar actividades sin valor agregado.
- Detectar desplazamientos innecesarios.
- Visualizar cuellos de botella.

Se propusieron mejoras basadas en:

- Conversión de actividades internas en externas.
- Reorganización de herramientas.
- Aplicación de principios 5'S.
- Eliminación de movimientos innecesarios.
- Estandarización preliminar del proceso.

4.4.4 Etapa 4. Rediseño e implementación

Se desarrolló un Procedimiento Operativo Estandarizado (POE) que incluyó:

- Secuencia optimizada de actividades.
- Responsables por tarea.
- Preparación externa de herramientas.
- Listas de verificación.

Se capacitó al personal operativo y se realizaron sesiones prácticas para asegurar la correcta aplicación del nuevo método.

4.4.5 Etapa 5. Evaluación del nuevo set-up

Durante 15 días posteriores a la implementación:

- Se cronometraron nuevamente las actividades.
- Se calcularon los KPIs definidos.
- Se compararon los resultados antes y después.
- Se determinó el porcentaje de reducción del tiempo de set-up.

4.5 Herramientas utilizadas

Las herramientas empleadas en el estudio fueron:

- Cronómetro digital.
- Grabación en video del proceso.
- Diagramas de flujo.
- Formatos de registro de tiempos.
- Hojas de cálculo en Excel para análisis estadístico.
- Procedimiento Operativo Estandarizado (POE).
- Principios de 5'S como herramienta de soporte.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante la implementación de la metodología SMED en los centros de maquinado CNC. Se describen las actividades realizadas durante el diagnóstico inicial, la toma de tiempos del proceso de set-up y la identificación de actividades internas y externas. Asimismo, se muestran los datos obtenidos antes y después de la aplicación de las mejoras, incluyendo tablas, gráficos y registros que permiten evaluar el impacto de las acciones implementadas en la reducción de los tiempos de preparación.

5.1 Conformación del equipo de trabajo

Para la ejecución del proyecto se conformó un equipo transfuncional integrado por personal de producción, mantenimiento, calidad y operadores.

La estructura organizacional del equipo se presenta en la Figura 2, donde se observa la distribución de responsabilidades y la interacción entre los integrantes.

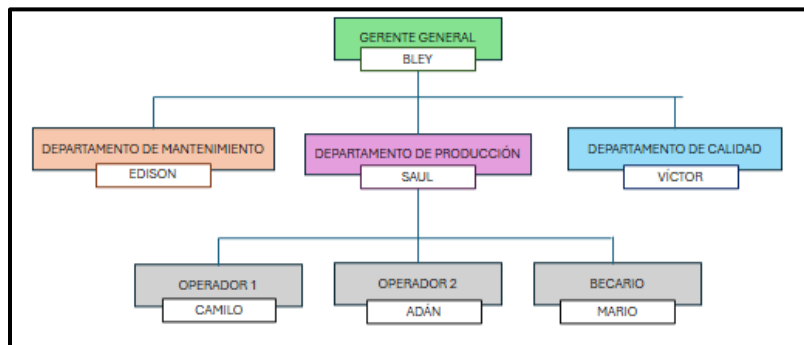


Figura 2 Organigrama de equipo colectivo transfuncional

La conformación del equipo permitió asegurar una visión integral del proceso de set-up.

5.2 Diagnóstico inicial del proceso

El procedimiento actual fue documentado mediante video y fotografías. Algunas evidencias del análisis visual se muestran en la Figura 3.



Figura 3 fotografías sacadas de los videos.

Para el registro sistemático de actividades y tiempos se utilizó el formato mostrado en la Figura 4, el cual permitió estandarizar la captura de información.

Actividades cambio de producción/limpieza/cambio de OP/ajuste o mantenimiento equipo				
Maquina:		Personas que participan en la medición		
Tipo de cambio:		_____		
Operario:		_____		
Fecha:		_____		
Hora inicio:		_____		
Hora final:		_____		
Tiempo:		_____		
Item	Descripción o detalle de la actividad	Tiempo (min)	tipo	Observaciones
1				
2				
3				

Figura 4 Formato para el registro de actividades y tiempos de operaciones

Adicionalmente, se impartió capacitación en metodología 5's, como se muestra en la Figura 5, con el objetivo de generar conciencia sobre orden y limpieza.



Figura 5 presentación de la metodología 5's

5.3 Toma de tiempos antes de SMED

Durante 15 días consecutivos se registraron los tiempos de cada actividad del set-up.

El consolidado de estas mediciones se presenta en la Figura 6.

No.	Actividad	22-sep	23-sep	24-sep	25-sep	26-sep	29-sep	30-sep	01-oct	02-oct	03-oct	06-oct	07-oct	08-oct	09-oct	10-oct	Promedio
1	Desmontaje de ultima pieza maquinada	0.29	0.31	0.34	0.33	0.33	0.31	0.33	0.28	0.31	0.29	0.28	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
2	Quitar rebaba y filos a pieza	1.92	1.87	1.89	1.9	1.89	1.9	1.93	1.88	1.93	1.92	1.92	1.88	1.92	1.92	1.9	1.9
3	Medicion de pieza y registro en hoja de inspeccion	4.78	4.77	4.76	4.78	4.74	4.76	4.74	4.72	4.73	4.77	4.78	4.73	4.73	4.76	4.75	4.75
4	Translado de pieza a area de calidad	0.32	0.34	0.32	0.33	0.33	0.33	0.33	0.3	0.3	0.33	0.33	0.3	0.31	0.3	0.33	0.33
5	desmontaje de conos de carrucel	1.32	1.29	1.3	1.31	1.33	1.28	1.34	1.29	1.31	1.32	1.34	1.31	1.33	1.31	1.31	1.31
6	desmontaje de herramienta de sujecion	2.15	2.18	2.18	2.17	2.14	2.15	2.17	2.12	2.13	2.18	2.13	2.12	2.18	2.13	2.15	2.15
7	Busqueda de Herramientas de sujecion	1.07	1.08	1.1	1.12	1.09	1.08	1.07	1.09	1.1	1.1	1.12	1.07	1.09	1.12	1.1	1.1
8	Limpieza de mesa de trabajo de maquina	14.73	14.76	14.78	14.79	14.76	14.73	14.78	14.74	14.74	14.73	14.76	14.74	14.79	14.74	14.76	14.76
9	Montaje de herramienta de sujecion	2.49	2.52	2.52	2.5	2.51	2.5	2.52	2.47	2.49	2.53	2.52	2.48	2.51	2.49	2.5	2.5
10	Busqueda de pieza a maquinar y monyaje de la pieza en maquina	1.01	1.03	1.05	1.04	1.02	1.03	1.03	1.01	1.03	1.02	1.03	1	1.02	1.03	1.03	1.03
11	Selección de programa, indico en la hoja de procesos	0.39	0.4	0.42	0.41	0.41	0.4	0.41	0.38	0.4	0.42	0.41	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
12	Busqueda de herramienta de medicion (indicador)	0.5	0.51	0.51	0.51	0.51	0.5	0.51	0.48	0.5	0.52	0.5	0.51	0.52	0.5	0.51	0.51
13	Calibrar cero de pieza	5.3	5.28	5.32	5.31	5.27	5.33	5.29	5.3	5.27	5.31	5.33	5.27	5.31	5.27	5.3	5.3
14	Busqueda de Herramientas de corte	2.94	2.92	2.94	2.93	2.95	2.91	2.93	2.88	2.91	2.95	2.91	2.92	2.92	2.9	2.91	2.91
15	Montaje de herramientas de corte a conos	9.36	9.33	9.34	9.34	9.36	9.36	9.3	9.32	9.35	9.31	9.33	9.36	9.3	9.33	9.33	9.33
16	Montaje de herramientas de corte a maquina (herramientar)	2.86	2.91	2.9	2.88	2.89	2.91	2.92	2.86	2.9	2.9	2.93	2.9	2.89	2.9	2.88	2.88
17	Calibracion de herramientas de corte (offset)	4.48	4.47	4.47	4.44	4.46	4.47	4.49	4.43	4.46	4.45	4.45	4.46	4.44	4.44	4.45	4.45
18	Acomodar mangueras para la salida de soluble	0.92	0.93	0.91	0.9	0.92	0.93	0.9	0.89	0.9	0.9	0.92	0.93	0.9	0.91	0.9	0.9
19	Ejecucion de programa en Sing Block	23.08	23.11	23.09	23.13	23.12	23.1	23.14	23.08	23.1	23.12	23.08	23.1	23.11	23.09	23.11	23.11
20	Desmontaje de ultima pieza maquinada	0.31	0.32	0.34	0.33	0.31	0.34	0.31	0.29	0.31	0.31	0.34	0.29	0.32	0.3	0.31	0.31
21	Quitar rebaba y filos a pieza	1.93	1.88	1.92	1.93	1.9	1.89	1.92	1.88	1.91	1.92	1.9	1.92	1.92	1.89	1.9	1.9
22	Medicion de pieza y registro en hoja de inspeccion	4.78	4.76	4.75	4.74	4.72	4.78	4.76	4.73	4.77	4.75	4.72	4.77	4.73	4.76	4.75	4.75
23	Translado de pieza a area de calidad	0.34	0.33	0.32	0.31	0.33	0.33	0.31	0.3	0.33	0.33	0.31	0.32	0.33	0.32	0.33	0.33
		88.27	89.30	90.47	91.43	92.29	93.32	94.43	94.72	96.18	97.38	98.34	99.09	100.28	101.12	102.22	
																	Total
																	87.22 minutos

Figura 6 Toma de tiempo de set up antes de SMED

A partir de estos registros se calcularon los tiempos promedio de cada actividad interna, los cuales se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2 Lista de actividades antes de SMED

Ítem	Descripción de la actividad	Tiempo promedio en min	Tipo
1	Desmontaje de última pieza maquinada.	0.31	Interna
2	Quitar rebaba y filos a pieza.	1.9	Interna
3	Medición de pieza y registro en hoja de inspección.	4.75	Interna
4	Traslado de pieza a área de calidad.	0.33	Interna
5	Desmontaje de conos de Carrusel.	1.31	Interna
6	Desmontaje de herramienta de sujeción.	2.15	Interna
7	Búsqueda de Herramientas de sujeción.	1.1	Interna
8	Limpieza de mesa de trabajo de máquina.	14.76	Interna
9	Montaje de herramienta de sujeción.	2.5	Interna
10	Búsqueda de pieza a maquinar y montaje de la pieza en máquina.	1.03	Interna
11	Selección de programa, indicado en la hoja de procesos.	0.4	Interna
12	Búsqueda de herramienta de medición (indicador).	0.51	Interna
13	Calibrar cero de pieza.	5.3	Interna
14	Búsqueda de Herramientas de corte.	2.91	Interna
15	Montaje de herramientas de corte a conos.	9.33	Interna
16	Montaje de herramientas de corte a máquina (herramentar).	2.88	Interna
17	Calibración de herramientas de corte (offset).	4.45	Interna
18	Acomodar mangueras para la salida de soluble.	0.9	Interna
19	Ejecución de programa en Sing Block.	23.11	Interna
20	Desmontaje de última pieza maquinada.	0.31	Interna
21	Quitar rebaba y filos a pieza.	1.9	Interna
22	Medición de pieza y registro en hoja de inspección.	4.75	Interna
23	Traslado de pieza al área de calidad.	0.33	Interna

Tiempo total	87.22
El tiempo promedio total de set-up antes de la implementación fue de: 87.22	

minutos

Este valor constituye la línea base del estudio.

5.4 Análisis y toma de decisiones

Para facilitar la conversión de actividades internas en externas se diseñó una plantilla de análisis en Excel, mostrada en la Figura 7.

SMED Single-Minute Exchange of Die															
Maquina	N°	Actividad	Responsable	Hora inicio	hora final	Tiempo inicial	tipo de actividad	¿se considera	¿se puede hacer en paralelo	¿se puede convertir en externa	¿se puede hacer	Tiempo final (min)	Acción	¿se considera	Descripción del plan de acción
SM-M	1	Desmontaje de última pieza maquinada	Camilo Hernandez	12:10:00	12:10:19	0:00:19	interna	SI				0:00:19		SI	
SM-M	2	Quitar rebaba y filos a pieza	Camilo Hernandez	12:10:19	12:12:13	0:01:54	interna	SI				0:01:54		SI	
SM-M	3	Medición de pieza y registro en hoja de inspección	Camilo Hernandez	12:12:13	12:16:58	0:04:45	interna	SI				0:04:45		SI	
SM-M	4	Traslado de pieza a área de calidad	Camilo Hernandez	12:16:58	12:17:18	0:00:20	interna	SI				0:00:20		SI	
SM-M	5	Desmontaje de conos de Carusel	Camilo Hernandez	12:17:18	12:18:47	0:01:29	interna	SI				0:01:29		SI	
SM-M	6	Desmontaje de herramienta de sujeción	Camilo Hernandez	12:18:47	12:20:56	0:02:09	interna	SI				0:02:09		SI	
SM-M	7	Busqueda de Herramientas de sujeción	Camilo Hernandez	12:20:56	12:22:02	0:01:06	interna	SI		SI		0:01:06	Externa	NO	Se incorporara otra persona responsable del avestamiento de las herramientas
SM-M	8	Limpieza de mesa de trabajo de maquina	Camilo Hernandez	12:22:02	12:36:48	0:14:46	interna	SI			SI	0:10:30	Optimizar	SI	Se eliminaron los movimientos innecesarios que el operador realiza, ya que no
SM-M	9	Montaje de herramienta de sujeción	Camilo Hernandez	12:36:48	12:39:18	0:02:30	interna	SI				0:02:30		SI	
SM-M	10	Busqueda de pieza a maquina y montaje de la pieza en maquina	Camilo Hernandez	12:39:18	12:40:20	0:01:02	interna	SI		SI		0:01:02	Externa	NO	Con ayuda del operador externo, se encargara de quitar material del lote a terminar y avasteara con el material del
SM-M	11	Selección de programas indicados en la hoja de	Camilo Hernandez	12:40:20	12:40:44	0:00:24	interna	SI				0:00:24		SI	

Figura 7 Plantilla de Excel para toma de decisión

Asimismo, la aplicación de la metodología 5's permitió mejorar el orden del área de trabajo. La comparación del estado inicial y final se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3 Antes y después de la metodología 5's

Antes	Después
	

Antes	Después
Se observa el carro de insertos para coronas antes de la aplicación de la metodología 5's, donde los elementos presentan una organización limitada, lo que dificulta su identificación y acceso durante el proceso de preparación.	Posterior a la implementación de la metodología 5's, el carro de insertos para coronas muestra una mejor organización y clasificación de los elementos, facilitando su identificación y acceso durante el set-up.
 La imagen muestra el carro utilizado para desmontar herramientas de sujeción y de corte en conos, evidenciando una disposición poco estructurada de los instrumentos necesarios para el cambio de herramientas.	 La imagen evidencia la reorganización del carro de herramientas para desmontaje de sujeción y corte en conos, permitiendo una disposición más ordenada que mejora la eficiencia en el proceso de cambio.

Antes	Después
	
Se presenta el carro de herramientas de corte que contiene cortadores, brocas y machuelos de diferentes diámetros, donde se observa una organización que puede generar retrasos en la localización de las herramientas requeridas.	Tras la aplicación de 5's, el carro de herramientas de corte presenta una clasificación más clara de cortadores, brocas y machuelos según su diámetro, optimizando su localización y uso en las operaciones de preparación.

La Tabla 2 evidencia mejoras en:

- Organización
- Identificación de herramientas
- Eliminación de desperdicios por búsqueda

5.5 Implementación del nuevo set-up

Previo a la implementación formal se realizó capacitación en SMED, como se observa en la Figura 8.



Figura 8 Platica de la implementación de la metodología SMED

Posteriormente se ejecutó el nuevo procedimiento estandarizado.

5.6 Toma de tiempos después de SMED

Durante 15 días posteriores a la implementación se volvió a registrar el proceso completo.

El consolidado de mediciones se presenta en la Figura 9.

No.	Actividad	13-oct	14-oct	15-oct	16-oct	17-oct	20-oct	21-oct	22-oct	23-oct	24-oct	27-oct	28-oct	29-oct	30-oct	31-oct	Promedio
1	Desmontaje de ultima pieza maquinada	0.29	0.31	0.34	0.33	0.33	0.31	0.33	0.28	0.31	0.29	0.28	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
2	Quitar rebabas y filos a pieza	1.92	1.87	1.89	1.9	1.89	1.9	1.93	1.88	1.93	1.92	1.88	1.92	1.92	1.9	1.9	1.9
3	Medicion de pieza y registro en hoja de inspeccion	4.78	4.77	4.76	4.78	4.74	4.76	4.74	4.72	4.73	4.77	4.78	4.73	4.73	4.76	4.75	4.75
4	Traslado de pieza a area de calidad	0.32	0.34	0.32	0.33	0.33	0.33	0.33	0.3	0.3	0.33	0.33	0.3	0.31	0.3	0.33	0.33
5	desmontaje de conos de camucel	1.32	1.29	1.3	1.31	1.33	1.28	1.34	1.29	1.31	1.32	1.34	1.31	1.33	1.31	1.31	1.31
6	desmontaje de herramienta de sujecion	2.15	2.18	2.18	2.17	2.14	2.15	2.17	2.12	2.13	2.18	2.13	2.12	2.18	2.13	2.15	2.15
7	Busqueda de Herramientas de sujecion	0.02	0.01	0	0	0.01	-0.03	0.01	-0.01	-0.02	0.03	0	0.01	0.01	-0.01	0	0
8	Limpieza de mesa de trabajo de maquina	10.52	10.49	10.53	10.49	10.49	10.5	10.5	10.48	10.48	10.47	10.51	10.51	10.48	10.49	10.5	10.5
9	Montaje de herramienta de sujecion	2.52	2.47	2.5	2.49	2.48	2.51	2.52	2.47	2.48	2.5	2.52	2.51	2.49	2.48	2.5	2.5
10	Busqueda de pieza a maquina y monyaje de la pieza en maquina	0.02	0.01	0	0	0.01	0.01	-0.02	0.01	-0.01	0.03	-0.01	0	0	0	0	0
11	Selección de programa , indicio en la hoja de procesos	0.39	0.4	0.42	0.41	0.41	0.4	0.41	0.38	0.4	0.42	0.41	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
12	Busqueda de herramienta de medicion (indicador)	-0.01	0.01	0	0	0.01	-0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0	0	0
13	Calibrar coro de pieza	5.3	5.28	5.32	5.31	5.27	5.33	5.29	5.3	5.27	5.31	5.33	5.27	5.31	5.27	5.3	5.3
14	Busqueda de Herramientas de corte	2.94	2.92	2.94	2.93	2.95	2.91	2.93	2.88	2.91	2.95	2.91	2.92	2.92	2.9	2.91	0
15	Montaje de herramientas de corte a conos	8.09	8.07	8.07	8.09	8.1	8.09	8.08	8.05	8.06	8.06	8.08	8.09	8.07	8.08	8.08	8.08
16	Montaje de herramientas de corte a maquina (herramientar)	2.86	2.91	2.9	2.88	2.89	2.91	2.92	2.86	2.9	2.93	2.9	2.89	2.9	2.88	2.88	2.88
17	Calibracion de herramientas de corte (offset)	4.48	4.47	4.47	4.44	4.46	4.47	4.49	4.43	4.46	4.45	4.45	4.46	4.44	4.44	4.45	2.75
18	Acomodar mangeras para la salida de soluble	0.92	0.93	0.91	0.9	0.92	0.93	0.9	0.89	0.9	0.9	0.92	0.93	0.9	0.91	0.9	0.9
19	Ejecucion de programa en Sing Block	18.61	18.62	18.63	18.6	18.59	18.61	18.6	18.58	18.62	18.61	18.6	18.62	18.61	18.6	18.61	18.61
20	Desmontaje de ultima pieza maquinada	0.31	0.32	0.34	0.33	0.31	0.34	0.31	0.29	0.31	0.31	0.34	0.29	0.32	0.3	0.31	0.31
21	Quitar rebaba y filos a pieza	1.93	1.88	1.92	1.93	1.9	1.89	1.92	1.88	1.91	1.92	1.9	1.92	1.92	1.89	1.9	1.9
22	Medicion de pieza y registro en hoja de inspeccion	4.78	4.76	4.75	4.74	4.72	4.76	4.73	4.77	4.75	4.72	4.77	4.73	4.76	4.75	4.75	4.75
23	Traslado de pieza a area de calidad	0.34	0.33	0.32	0.31	0.33	0.33	0.31	0.3	0.33	0.33	0.31	0.32	0.33	0.33	0.33	0.33
		74.8	74.84	74.81	74.67	74.61	74.68	74.76	74.12	74.49	74.76	74.7	74.58	74.61	74.46	74.57	69.96
		Total															69.96 minutos

Figura 9 Toma de tiempos de set up después de implementar SMED

Las actividades que permanecieron como internas y sus tiempos promedio se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4 Actividades que permanecen como internas después del análisis de SMED

Descripción	Tiempo min	Tipo
Desmontaje de última pieza maquinada.	0.31	Interna
Quitar rebaba y filos a pieza.	1.9	Interna
Medición de pieza y registro en hoja de inspección.	4.75	Interna
Traslado de pieza a área de calidad.	0.33	Interna
Desmontaje de última pieza maquinada.	1.31	Interna
Desmontaje de conos de Carrusel.	2.15	Interna
Desmontaje de herramienta de sujeción.	0	Interna
Limpieza de mesa de trabajo de máquina.	10.5	Interna
Montaje de herramienta de sujeción.	2.5	Interna
Selección de programa, indicado en la hoja de procesos.	0	Interna
Calibrar cero de pieza.	0.4	Interna
Montaje de herramientas de corte a conos.	0	Interna
Montaje de herramientas de corte a máquina (herramentar).	5.3	Interna
Calibración de herramientas de corte (offset).	0	Interna
Acomodar mangueras para la salida de soluble.	8.08	Interna
Ejecución de programa en Sing Block.	2.88	Interna
Desmontaje de última pieza maquinada.	2.75	Interna

Descripción	Tiempo min	Tipo
Quitar rebaba y filos a pieza.	0.9	Interna
Medición de pieza y registro en hoja de inspección.	18.61	Interna
Traslado de pieza al área de calidad.	0.31	Interna
Tiempo total	66.96	

El nuevo tiempo promedio total fue: 69.96 minutos.

4.7 Comparación antes vs después.

La reducción de tiempo se ilustra gráficamente en la Figura 10.

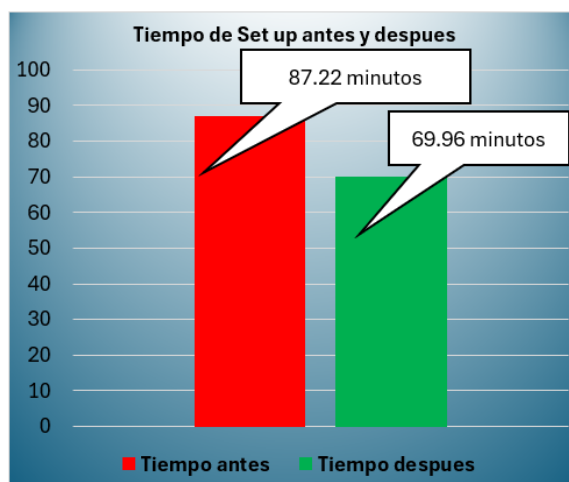


Figura 100 Tiempo promedio antes y después de SMED

Indicador	Antes	Después	Diferencia
Tiempo promedio (min)	87.22	69.96	17.26

Reducción porcentual: 19.79%

5.8 Impacto en la disponibilidad

La variación en disponibilidad se presenta en la Figura 11.

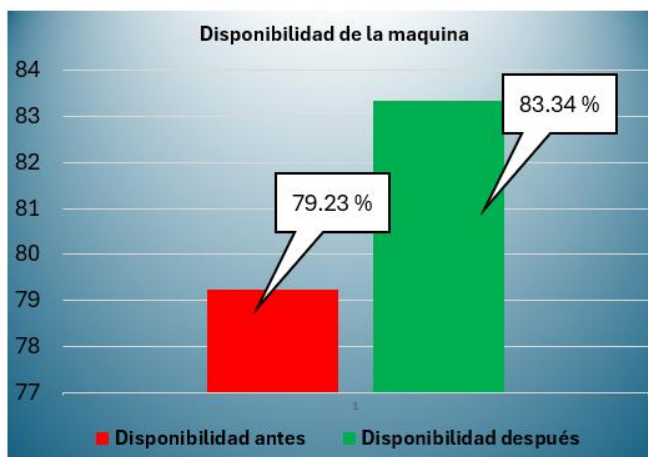


Figura 11 Disponibilidad de la maquina antes y después de SMED

Indicador	Antes	Después	Mejora
Disponibilidad	79.23%	83.34%	+4.11%

El incremento se atribuye directamente a la reducción del tiempo de set-up.

4.9 Impacto en horas productivas y beneficio económico

Concepto	Valor
Horas antes	2164.80 h
Horas después	2197.44 h
Horas recuperadas	32.64 h

En términos operativos, cada máquina presenta un costo de operación de 24 USD por hora. Considerando este valor, es posible estimar el ahorro económico anual generado por máquina a partir de la reducción de tiempo improductivo.

El cálculo del beneficio anual se determina de la siguiente manera:

Beneficio anual: $32.64 \text{ h} \times 24 \text{ USD/h} = 783.36$

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS Y

DISCUSIÓN

En este capítulo se realiza el análisis de los resultados obtenidos tras la implementación de la metodología SMED. Se comparan los tiempos de set-up registrados antes y después de la intervención, evaluando el impacto de las mejoras implementadas en la eficiencia del proceso y en la disponibilidad del equipo. Además, se discuten los resultados en relación con estudios previos reportados en la literatura, con el fin de interpretar los hallazgos y determinar el alcance de las mejoras logradas dentro del área de maquinado CNC.

6.1 Interpretación de los resultados

La implementación de la metodología SMED permitió reducir el tiempo promedio de cambio de modelo de 87.22 minutos a 69.96 minutos, lo que representa una disminución absoluta de 17.26 minutos y una reducción porcentual del 19.79 %.

Desde una perspectiva operativa, esta reducción evidencia que una parte significativa del tiempo inicial estaba compuesta por actividades susceptibles de reorganización, conversión o eliminación. La identificación y separación de actividades internas y externas fue determinante para optimizar el proceso.

El incremento en la disponibilidad del equipo, que pasó de 79.23 % a 83.34 %, confirma que la disminución del tiempo de set-up tiene impacto directo sobre uno de los principales componentes del desempeño productivo. Este aumento de 4.11 puntos porcentuales refleja una mejora estructural en la utilización del centro de maquinado.

Asimismo, la recuperación de 32.64 horas productivas anuales demuestra que incluso reducciones aparentemente moderadas en el tiempo de preparación pueden generar efectos acumulativos significativos en el rendimiento anual del equipo.

Desde el punto de vista económico, el beneficio estimado de 783.36 USD anuales valida que la metodología SMED no solo es técnicamente efectiva, sino también financieramente justificable, aun sin requerir inversión adicional en maquinaria o infraestructura.

6.2 Comparación con estudios previos

Los resultados obtenidos en esta investigación son consistentes con la literatura especializada sobre implementación de SMED.

Diversos estudios reportan reducciones que oscilan entre el 20 % y el 60 %, dependiendo del sector industrial y del nivel inicial de desorganización del proceso. En investigaciones previas citadas en el marco teórico, se documentan mejoras superiores al 25 % en entornos manufactureros con procesos repetitivos.

En comparación con dichos estudios, la reducción del 19.79 % obtenida en este proyecto se encuentra dentro del rango esperado para una primera implementación estructurada de SMED en centros de maquinado CNC.

Sin embargo, a diferencia de algunos casos industriales donde la mejora se centra únicamente en la conversión de actividades internas, en este estudio se integró adicionalmente la metodología 5's como herramienta de soporte, lo que permitió fortalecer la estandarización y sostenibilidad del proceso.

Esto confirma que la combinación de SMED con herramientas de organización del entorno potencia la reducción de desperdicios asociados a búsqueda de herramientas, desplazamientos innecesarios y falta de estandarización.

6.3 Impacto en la empresa

El impacto del proyecto se puede analizar en cuatro dimensiones:

1. Impacto operativo

- Reducción de tiempos improductivos.
- Mayor estabilidad en la programación de producción.
- Disminución de variabilidad en cambios de modelo.

2. Impacto económico

- Recuperación de horas productivas.
- Incremento en la eficiencia del uso del activo.
- Beneficio anual cuantificable sin inversión adicional.

3. Impacto organizacional

- Trabajo colaborativo mediante equipo transfuncional.
- Capacitación del personal en herramientas Lean.
- Cultura orientada a estandarización y mejora continua.

4. Impacto estratégico

- Mayor capacidad de respuesta ante lotes pequeños.
- Mayor competitividad frente a exigencias del mercado.
- Base metodológica replicable en otros centros de maquinado.

6.4 Reflexión técnica

Si bien la reducción lograda es significativa, aún existe margen de mejora. La metodología SMED plantea que el perfeccionamiento es progresivo y continuo. Por lo tanto, futuras iteraciones podrían enfocarse en:

- Automatización parcial de ajustes.
- Diseño de dispositivos de fijación rápida.

- Implementación de poka-yokes.
- Integración con indicadores OEE completos.

Esto sugiere que el proyecto no constituye un punto final, sino una base sólida para la mejora continua dentro del sistema productivo.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones derivadas del desarrollo de la investigación, destacando los principales resultados obtenidos mediante la implementación de la metodología SMED en los centros de maquinado CNC. Se evalúa el cumplimiento de los objetivos planteados y se analiza el impacto de las mejoras en la reducción del tiempo de set-up y en la disponibilidad del equipo. Asimismo, se proponen recomendaciones orientadas a fortalecer la continuidad de las mejoras y a promover futuras aplicaciones de la metodología en otros procesos productivos de la organización.

7.1 Conclusiones

7.1.1 Conclusión general (alineada al objetivo)

El presente trabajo tuvo como objetivo reducir el tiempo de cambio de modelo en un centro de maquinado CNC mediante la implementación de la metodología SMED, con una meta mínima de reducción del 9%.

Los resultados obtenidos demuestran que el tiempo promedio de set-up disminuyó de 87.22 minutos a 69.96 minutos, lo que representa una reducción del 19.78 %, superando en 10.78 puntos porcentuales la meta inicialmente establecida.

Por lo tanto, se concluye que la aplicación estructurada de la metodología SMED es efectiva para reducir tiempos improductivos en centros de maquinado CNC y constituye una herramienta viable para incrementar la eficiencia operativa en entornos de manufactura.

7.1.2 Conclusiones específicas

1. Respecto al diagnóstico del proceso

El análisis microtemporal mediante videograbación y cronometraje durante 15 días permitió identificar con precisión actividades internas susceptibles de mejora, demostrando

que el estudio detallado del proceso es una condición indispensable para una correcta aplicación de SMED.

2. Respecto a la conversión de actividades internas a externas.

La separación y reorganización de actividades permitió optimizar la secuencia del cambio de modelo, reduciendo tiempos sin requerir inversión en maquinaria adicional, lo que confirma que gran parte de los desperdicios se originan en la organización del proceso y no en limitaciones tecnológicas.

3. Respecto al impacto en la disponibilidad.

La reducción del tiempo de set-up generó un incremento en la disponibilidad del equipo de 79.23 % a 83.34 %, lo que representa una mejora de 4.11 puntos porcentuales. Esto confirma que la disminución de tiempos de preparación tiene efecto directo en el aprovechamiento del activo productivo.

4. Respecto al impacto productivo y económico.

La mejora permitió recuperar 32.64 horas productivas anuales, generando un beneficio económico estimado de 783.36 USD por año, lo cual demuestra que incluso reducciones moderadas pueden producir efectos financieros acumulativos relevantes.

7.2 Aporte del trabajo

El presente estudio aporta en cuatro niveles:

1. Aporte técnico

Demuestra la aplicabilidad práctica de SMED en centros de maquinado CNC, integrando análisis microtemporal, estandarización operativa y apoyo de 5's como herramienta complementaria.

2. Aporte metodológico

Establece un procedimiento estructurado replicable que incluye:

- Diagnóstico mediante videgrabación
- Clasificación de actividades internas y externas
- Diseño de procedimiento operativo estandarizado
- Capacitación y seguimiento
- Medición comparativa antes vs después

Este esquema puede aplicarse en otros centros de maquinado o procesos similares.

3. Aporte organizacional

El proyecto fomentó la formación de un equipo transfuncional y promovió la cultura de mejora continua dentro de la empresa, sentando bases para futuros proyectos de optimización.

4. Aporte académico

El trabajo fortalece el vínculo entre el sector industrial y la formación profesional, generando un precedente para la participación de estudiantes en proyectos estructurados de mejora continua dentro de la organización.

7.3 Recomendaciones

7.3.1 Recomendaciones operativas

1. Mantener auditorías periódicas del procedimiento estandarizado de set-up para asegurar la sostenibilidad de los resultados.

2. Continuar la aplicación de 5's con participación activa de los operadores, reforzando el sentido de pertenencia y disciplina operativa.
3. Implementar indicadores visuales en el área de maquinado que permitan monitorear tiempos de cambio en tiempo real.

7.3.2 Recomendaciones estratégicas

1. Replicar la metodología SMED en otros centros de maquinado, como el área de tornos CNC.
2. Integrar la medición completa del OEE para evaluar impacto no solo en disponibilidad, sino también en rendimiento y calidad.
3. Incorporar herramientas complementarias como:
 - Value Stream Mapping (VSM)
 - Poka-Yoke
 - Análisis MTTR y MTBF
 - Digitalización del registro de set-up

7.3.3 Recomendaciones para futuras investigaciones

1. Realizar análisis estadísticos inferenciales (prueba t de Student) para validar significancia estadística de la reducción.
2. Evaluar el impacto de SMED en escenarios de alta mixidad de productos.
3. Analizar el impacto económico considerando demanda variable y costos indirectos.
4. Estudiar la automatización parcial de actividades internas para acercarse al concepto original de cambio en un solo dígito.

7.4 Cierre del estudio

En conclusión, la implementación de SMED en el centro de maquinado CNC no solo permitió alcanzar y superar el objetivo planteado, sino que demostró que la mejora continúa basada en análisis técnico estructurado puede generar beneficios operativos, económicos y organizacionales sin requerir inversiones significativas.

El proyecto confirma que la optimización de procesos no depende únicamente de tecnología avanzada, sino de la correcta gestión del tiempo, la estandarización de actividades y la participación activa del personal operativo.

Competencias desarrollas y/o aplicadas

Área de competencia	Competencias aplicadas durante el desarrollo del proyecto
Ciencias Básicas	• Aplicación de conocimientos de estadística y probabilidad para el análisis de tiempos de proceso y la interpretación de datos. • Uso de fundamentos de física y propiedades de los materiales para comprender el funcionamiento de los equipos y las herramientas de corte.
Ciencias de la Ingeniería	• Aplicación de principios de Estudio del Trabajo I y II y Procesos de Fabricación para analizar operaciones, documentar actividades y determinar tiempos estándar. • Uso de Metrología y Normalización para asegurar mediciones confiables. • Implementación de herramientas de Control Estadístico de la Calidad para monitorear y controlar procesos. • Consideración de Higiene y Seguridad Industrial para mantener condiciones seguras durante mantenimiento y limpieza.

	• Aplicación de principios de Ergonomía para mejorar posturas y reducir la fatiga del operador.
Ingeniería	• Uso de Administración de las Operaciones I y II, Administración del Mantenimiento y Sistemas de
Aplicada y	Manufactura para la planeación y control de actividades.
Diseño	• Aplicación de Gestión de Sistemas de Calidad para documentar y estandarizar procedimientos.
Ingenieril	• Uso de Simulación y Planeación y Diseño de Instalaciones para analizar el flujo de trabajo y redistribuir áreas.
Especialidad	• Aplicación de Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing) y SMED para reducir tiempos de preparación de Set up y eliminar desperdicios. • Uso de herramientas de Seis Sigma y Diseño de Experimentos para el análisis de causas raíz y validación de mejoras. • Aplicación de Ingeniería de Calidad para evaluar el impacto de las mejoras en productividad y calidad. • Desarrollo de habilidades directivas y gerenciales para fomentar liderazgo, comunicación y trabajo en equipo.

Ciencias	•	Aplicación de Ingeniería Económica y Gestión de
Económico		Costos para estimar ahorros y optimizar recursos.
Administrativas	•	Uso de Administración de Proyectos y Planeación
		Financiera para gestionar cronogramas, recursos y
		objetivos del proyecto.

Ciencias	•	Aplicación de principios de Ética y Liderazgo para
Sociales y		fortalecer la responsabilidad profesional, el trabajo
Humanidades		colaborativo y el compromiso con la mejora continua.

Impactos del proyecto

Impacto económico

La implementación de la metodología SMED en los centros de maquinado CNC genera un impacto económico significativo dentro de la empresa al optimizar los tiempos de preparación de máquina (set up). La reducción de estos tiempos permite incrementar la disponibilidad de los equipos, lo que se traduce en una mayor capacidad productiva sin necesidad de realizar inversiones adicionales en maquinaria o infraestructura.

Al disminuir el tiempo improductivo durante los cambios de herramienta, ajustes o preparación de procesos, se logra aprovechar de manera más eficiente el tiempo operativo de los centros de maquinado. Esto contribuye a reducir costos asociados a paros de máquina, retrasos en la producción y uso ineficiente de recursos humanos y tecnológicos.

Asimismo, la mejora en la eficiencia operativa permite aumentar la competitividad de la empresa al mejorar el cumplimiento de los tiempos de entrega y optimizar la gestión de los recursos productivos. En consecuencia, la organización puede responder con mayor rapidez a las demandas del mercado, disminuir pérdidas económicas derivadas de tiempos muertos y mejorar la rentabilidad general de sus procesos de manufactura.

Impacto social

El desarrollo e implementación de este proyecto genera un impacto social positivo dentro del entorno laboral de la empresa, al promover una cultura organizacional orientada a la mejora continua, la eficiencia operativa y el trabajo colaborativo. La aplicación de la metodología SMED requiere la participación activa de operadores, técnicos y personal de ingeniería, fomentando la comunicación entre las diferentes áreas del proceso productivo.

Además, la estandarización de procedimientos y la optimización de los procesos de preparación de máquinas contribuyen a mejorar las condiciones de trabajo de los operadores, ya que se reducen actividades innecesarias, movimientos improductivos y tiempos de espera durante la operación de los equipos.

De igual manera, al fortalecer la productividad y competitividad de la empresa, el proyecto contribuye indirectamente a la estabilidad laboral y al desarrollo del sector manufacturero, generando un entorno más favorable para el crecimiento industrial y la generación de oportunidades de empleo.

Impacto académico

Desde el punto de vista académico, el presente proyecto aporta evidencia aplicada sobre la implementación de herramientas de mejora continua en entornos reales de manufactura, específicamente en centros de maquinado CNC. La aplicación de la metodología SMED permite integrar conocimientos teóricos de ingeniería industrial con la práctica en un contexto productivo real, contribuyendo al desarrollo de competencias profesionales en el análisis y optimización de procesos.

Asimismo, el estudio genera información útil para futuras investigaciones relacionadas con la reducción de tiempos de preparación, la optimización de procesos productivos y la mejora de la eficiencia operativa en sistemas de manufactura. Los resultados obtenidos pueden servir como referencia para otros proyectos académicos o industriales interesados en implementar metodologías de mejora continua dentro de sus procesos.

Finalmente, este trabajo fortalece la vinculación entre el ámbito académico y el sector industrial, demostrando la importancia de aplicar metodologías científicas y herramientas de ingeniería para la solución de problemas reales dentro de las organizaciones.

GLOSARIO

Set up: Conjunto de actividades necesarias para cambiar un equipo o proceso de la producción de un producto a otro, con el objetivo de reducir el tiempo de preparación mediante la estandarización de actividades.

Mixidad: Nivel de variedad de productos fabricados en un mismo equipo o línea productiva; una alta mixidad implica cambios frecuentes de lote.

Tangible: Resultados medibles y verificables, principalmente reflejados en la reducción del tiempo de preparación en periodos cortos.

Equipo transfuncional: Grupo de trabajo integrado por personal de diferentes áreas que colabora en el análisis y mejora de los procesos productivos.

Estandarización: Proceso mediante el cual se establecen procedimientos, métodos y prácticas uniformes con el objetivo de asegurar consistencia, calidad y repetibilidad en las operaciones.

Disponibilidad: Indicador que representa el porcentaje de tiempo en el que un equipo o sistema se encuentra en condiciones operativas para realizar su función productiva.

Productividad: Relación entre la cantidad de productos obtenidos y los recursos utilizados durante el proceso de producción.

Eficiencia: Capacidad de realizar una actividad utilizando la menor cantidad posible de recursos, tiempo o esfuerzo, manteniendo los resultados esperados.

Maquinado: Proceso de manufactura mediante el cual se da forma a una pieza mediante la remoción de material utilizando máquinas herramienta como tornos, fresadoras o centros de maquinado.

Alistamiento: Conjunto de actividades previas a la operación de un proceso productivo que incluyen la preparación de herramientas, materiales y equipos necesarios para iniciar la producción.

Herramental: Conjunto de herramientas, dispositivos y accesorios utilizados para realizar operaciones de mecanizado o producción en una máquina.

Trazabilidad: Capacidad de rastrear el historial, aplicación o ubicación de un producto, material o proceso a lo largo de todas las etapas de producción.

Optimización: Proceso de mejora orientado a obtener el mejor desempeño posible de un sistema o proceso mediante el uso eficiente de los recursos disponibles.

Variabilidad: Grado de dispersión o diferencia que existe en los resultados de un proceso debido a cambios en condiciones, materiales, métodos o factores humanos.

Cuello de botella: Etapa o recurso dentro de un proceso productivo cuya capacidad es menor que la del resto de las operaciones, limitando el flujo de producción.

Capacidad productiva: Cantidad máxima de productos que un sistema, equipo o proceso puede generar en un periodo determinado bajo condiciones normales de operación.

Flujo productivo: Secuencia continua de actividades y operaciones mediante las cuales los materiales se transforman en productos terminados dentro de un sistema de producción.

REFERENCIAS

- Alarcón Sornoza, J. W., & Véliz Dorado, D. A. (2022). *Reducción de tiempos de cambio en la máquina acampanadora mediante la aplicación de la técnica SMED en la empresa Mexichem Ecuador S.A.*
- Arcos Guzmán, J. E. (2021). *Propuesta de reducción del tiempo de cambio de molde de troquel mediante la metodología SMED en la línea FWS.*
- Baldeon Calderon, R. N., & Bonifaz Tipacti, J. C. F. (2024). *Modelo para mejorar la eficiencia global de equipos CNC en una PYME metalmecánica utilizando TPM, SMED y estandarización del trabajo.*
- Barrera Santiago, I. G. (2024). *Implementación de la metodología SMED para la reducción de tiempos de cambio de modelo en máquinas CNC de una empresa de dispositivos electrónicos.*
- Becerril Rosales, I., & Martínez Gabino, R. A. (2025). *Implementación del SMED para reducir el tiempo de ajuste en máquinas CNC.*
- Bocanegra Sueldo, J. F., & De La Vega Yañe, E. (2023). *Aplicación de metodología SMED en una empresa del sector de empaques flexibles.*
- Bravo López, K. (2025). *Propuesta de mejora de la productividad utilizando herramientas de manufactura esbelta 5's y SMED en la planta metalmecánica de la empresa Brahmco S.A.C., Lima 2024 [Tesis de licenciatura].*
- Chávez Salazar, R. (2023). *Mejora de tiempo en cambio de troquel "Transfer 1500".*

- Chipantiza Ganan, D. J. (2017). *Gestión de la producción para reducir desperdicios de tiempo del proceso de aparado utilizando la metodología de cambio rápido de herramientas (SMED) en industrias de manufactura de calzado de cuero.*
- Cotrina Díaz, A. D. (2024). *Implementación de las 5's y SMED para aumentar la productividad en el área de producción de la empresa Distec, Cajamarca 2023.*
- Delgado-Antonio, A., Sanchez-Cabrera, J., & Salas, R. (2022). Model to reduce project delivery times by applying TPM and SMED: Case study in a metalworking company. En *Proceedings of the 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology: Education, Research and Leadership in Post-pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions.*
- de Freitas Menecucci, D. A., Florido, W. G., do Amaral, F. R., da Silva Richetto, K. C., & da Silva Richetto, M. R. (2024). Reduction in setup time for the POLO part on the MAUSA B CNC machine.
- Díaz Jara, M. J. (2022). *Aplicación de la metodología SMED y la filosofía 5's para mejorar el proceso en las líneas de costura de una empresa de confecciones.*
- Domínguez Echeverría, A. B. (2020). *Aplicación de la metodología SMED en procesos de conformado de Ecuamatrix Cía. Ltda.*
- Espinoza Martínez, M., & Yauri García, D. A. (s.f.). *Propuesta de mejora para incrementar el nivel de cumplimiento de pedidos en una empresa de tubos de PVC mediante la implementación de SMED y 5's.*
- Guzel, D., & Asiabi, A. S. (2020). Improving setup time by using SMED and 5's: An application in SMEs.

- Hys, K., & Domagała, A. (2021). Application of the SMED method for improving the CNC machine workplace production process in the scope of “waiting” MUDA. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska*, (151), 239–252.
- Millán, É. A., & Silvestre Suárez, J. C. (2020). *Propuesta para la implementación de la metodología SMED en los procesos de limpieza y desinfección de máquinas de secado*.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press.
- Olivera Sánchez, M., Olguín De la Vega, C. A., Cruz Pérez, M. Á., & Zamora Antuñano, M. A. (2025). Diseño de método de reducción de tiempos de fabricación de autopartes mediante la aplicación del SMED. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(1), 9670–9690.
- Pertuz Rodríguez, A. J. (2018). *Implementación de la metodología SMED para la reducción de tiempos de alistamiento (set up) en máquinas encapsuladoras de una empresa farmacéutica en Barranquilla*.
- Ramírez Ponce, L. G., & Suárez Carpio, C. R. (2019). *Incremento de la disponibilidad de una línea de producción en una compañía que procesa tubos de acero*.
- Ríos Novoa, P. M., & Romero Huaranga, F. J. (2024). *Implantación de TPM y SMED para incrementar la disponibilidad de máquinas en la fabricación de piezas mecánicas de una empresa del sector metalmecánico*.
- Salvador, C. A. (2022). *Reducir tiempos de preparación y retrasos en entrega de tableros en la empresa metalmecánica Fimmex de la zona centro del estado de Veracruz*.

Shingo, S. (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Productivity Press.

Sujová, E., & Vysloužilová, D. (2025). Proposal for streamlining the CNC machine changeover process through the application of the SMED method. *Management Systems in Production Engineering*.

Torresa, A. G., Mirandaa, F. M. H., & Sotoa, M. T. M. (s.f.). *Reducción de tiempos de set-up a través de la técnica SMED en una línea de producción*.

Villacrés Rosado, C. A. (2022). *Implementación de la metodología SMED para reducir los tiempos de cambio de formato en una línea envasadora de detergente*.