

# Estrategias de manufactura esbelta para aumentar la producción de transformadores eléctricos

## Lean Manufacturing Strategies for Increasing Electric Transformers Production

J. I. Castillo-Vite <sup>a</sup>, A. Juárez-Vite <sup>a\*</sup>, H. Rivera-Gómez <sup>a</sup>, J. R. Corona-Armenta <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

### Resumen

Este estudio busca optimizar el proceso de devanado en la fabricación de transformadores eléctricos mediante SMED (Single Minute Exchange of Die), reduciendo los tiempos de configuración y aumentando la capacidad productiva. Se realizó un análisis del proceso actual, clasificando actividades en internas y externas, e implementando mejoras como reorganización de materiales, modificación de moldes y capacitación del personal. Los resultados evidenciaron una reducción del 29.2% en el tiempo de devanado, pasando de 397 a 281 minutos, lo que permitió incrementar la producción mensual de 4 a 4.86 transformadores. Además, la optimización del flujo de trabajo redujo el esfuerzo físico de los operadores y favoreció la adopción de la metodología. En conclusión, SMED demostró ser una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia operativa sin necesidad de inversión adicional, aumentando la productividad y alineando la producción con la demanda. Se recomienda continuar con iteraciones y explorar la integración de tecnologías 4.0 y herramientas Lean para maximizar los beneficios.

**Palabras Clave:** SMED, optimización de procesos, reducción de tiempos, devanado de transformadores, eficiencia operativa.

### Abstract

This study seeks to optimize the winding process in electrical transformer manufacturing using SMED (Single Minute Exchange of Die), reducing setup times and increasing production capacity. An analysis of the current process was conducted, classifying activities as internal and external, and implementing improvements such as material reorganization, mold modification, and staff training. The results showed a 29.2% reduction in winding time, from 397 to 281 minutes, which increased monthly production from 4 to 4.86 transformers. Furthermore, workflow optimization reduced the physical effort of operators and favored the adoption of the methodology. In conclusion, SMED proved to be an effective strategy for improving operational efficiency without additional investment, increasing productivity, and aligning production with demand. It is recommended that iterations continue and that the integration of 4.0 technologies and Lean tools be explored to maximize benefits.

**Keywords:** SMED, process optimization, time reduction, transformer winding, operational efficiency.

## 1. Introducción

La eficiencia en la manufactura no es una opción, sino una necesidad imperante en un mundo donde la competitividad industrial se define por segundos y milímetros. Cada proceso, cada ajuste y cada transición en una línea de producción pueden marcar la diferencia entre el liderazgo en el mercado o la obsolescencia.

En 2025, la industria eléctrica a nivel mundial está marcada por tendencias significativas que buscan transformar la generación, distribución y consumo de

energía hacia modelos más sostenibles y eficientes. Algunas de las principales tendencias actuales son: 1. Aumento de la Inversión en la Transición Energética, la inversión global en la transición hacia energías limpias ha superado los \$2 billones en el último año, impulsada por el desarrollo de energías renovables, modernización de redes eléctricas, transporte electrificado y almacenamiento de energía. Sin embargo, para alcanzar los objetivos de emisiones netas cero para mediados de siglo, se estima que las inversiones anuales deben promediar \$5.6 billones entre 2025 y 2030 (Reuters, 2025). 2. Crecimiento récord en energías

\*Autor para la correspondencia: ju100906@uaeh.edu.mx

**Correo electrónico:** ca421132@uaeh.edu.mx (J. Iván Castillo-Vite), ju100906@uaeh.edu.mx (Asel Juárez-Vite), hriv06@hotmail.com (Héctor Rivera-Gómez), jrcorona@uaeh.edu.mx, (José Ramón Corona-Armenta).

renovables, se proyecta que la capacidad de generación solar y eólica alcance un nuevo récord en 2025, añadiendo aproximadamente 1,000 TWh de electricidad para satisfacer la creciente demanda energética. Este incremento subraya la prioridad global de obtener la mayor cantidad posible de electricidad de fuentes renovables (WORLDENERGYTRADE, 2024). 3. Integración de inteligencia artificial y el internet de las cosas (IoT), las instalaciones están adoptando dispositivos de IA e IoT para mejorar la eficiencia energética y la sostenibilidad. La integración de sensores y análisis inteligentes permite recopilar datos en tiempo real sobre el consumo de energía, optimizando las operaciones de equipos e iluminación, lo que reduce el consumo energético y mejora el rendimiento general (INDIANAMICHIGANPOWER, 2025). 4. Avances en almacenamiento de energía, el mercado de almacenamiento de energía está en auge, con previsiones que indican que el mercado mundial de baterías alcanzará los \$423,900 millones en 2025. Este crecimiento es esencial para gestionar la intermitencia de las energías renovables y garantizar un suministro eléctrico estable (CICenergiGUNE, 2024). 5. Desconexión de redes eléctricas rusas en Europa, países europeos, como Estonia, están avanzando en su desconexión de las redes eléctricas rusas y bielorrusas, integrándose al sistema europeo continental. Esta transición busca fortalecer la independencia energética y la seguridad del suministro en la región (HuffPost, 2025). 6. Enfoque en eficiencia energética, la eficiencia energética sigue siendo una prioridad, con grandes ciudades y empresas adoptando soluciones de automatización y monitorización para reducir el gasto operativo y contribuir a la sostenibilidad. Políticas y tecnologías enfocadas en la eficiencia están en auge, promoviendo un uso más racional de la energía (Gómez, 2024). Así mismo, en 2025, la industria eléctrica en México está experimentando transformaciones significativas impulsadas por la necesidad de sostenibilidad, eficiencia y adaptación a nuevas tecnologías. Algunas de las principales tendencias que están moldeando el sector eléctrico nacional actuales son: 1. Transición hacia energías renovables y objetivo net zero, las industrias mexicanas están avanzando hacia la transición energética, enfocándose en la reducción de emisiones y la adopción de tecnologías limpias. Este movimiento no solo busca cumplir con compromisos ambientales, sino también mejorar la competitividad en el mercado global (MEISA, 2025). 2. Almacenamiento de energía y baterías inteligentes, una de las tendencias más destacadas es el almacenamiento de energía mediante baterías de litio inteligentes. En México, esta tecnología está ganando relevancia, ya que permite gestionar de manera eficiente la energía generada por fuentes renovables y mejorar la estabilidad de la red eléctrica (Ordaz, 2025). 3. Electromovilidad y vehículos híbridos, aunque los vehículos eléctricos están en desarrollo, se prevé que para 2025 la industria mexicana se enfoque más en vehículos híbridos. Estos ofrecen una reducción significativa de emisiones de carbono y son más accesibles para el público, facilitando una transición gradual hacia la electromovilidad (La capital, 2025). 4. Participación privada en el sector energético, el Gobierno de México ha lanzado un ambicioso Plan Nacional de Energía que promueve la inversión privada y el desarrollo de energías limpias para fortalecer el

sector energético. Este plan busca establecer una colaboración entre el Estado y el sector privado, con reglas claras que permitan una participación mixta y el fortalecimiento de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) (Castillo, 2024). 5. Enfoque en sostenibilidad y diversificación del talento, las empresas mexicanas están implementando políticas de inclusión, equidad de género y derechos humanos para atraer y retener talento en un entorno diverso y global. Además, se están adoptando prácticas sostenibles que incluyen la reducción de residuos y el uso de tecnologías limpias, impulsando su competitividad en el mercado global (MEISA, 2025). Estas tendencias reflejan el compromiso de México por transformar su industria eléctrica hacia un modelo más sostenible, eficiente y resiliente, enfrentando los desafíos energéticos y climáticos actuales.

En la industria eléctrica, especialmente en la fabricación de transformadores, la reducción de tiempos en el proceso de devanado representa una oportunidad clave para aumentar la productividad y optimizar el uso de recursos. A nivel global, la manufactura esbelta ha revolucionado la producción mediante metodologías como SMED (Single Minute Exchange of Die), desarrollada por Shigeo Shingo, la cual ha sido ampliamente aplicada en sectores como el automotriz y aeroespacial, logrando reducciones significativas en costos y mejoras en la eficiencia operativa (Shingo, 1985). Países como Japón y Alemania han utilizado esta metodología para mantener altos niveles de competitividad y flexibilidad en la producción (Womack & Jones, 1996). En México, la industria manufacturera representa aproximadamente el 18% del PIB (INEGI, 2023), pero muchas empresas aún enfrentan desafíos relacionados con tiempos improductivos y la optimización de procesos manuales. En particular, el sector de fabricación de transformadores requiere mejoras en eficiencia, ya que la transición entre bobinas en el devanado continúa siendo un cuello de botella que afecta la productividad global.

Este estudio se enfoca en la aplicación de SMED en el proceso de devanado dentro de una empresa mexicana de fabricación de transformadores. Actualmente, la producción está limitada a cuatro equipos por período, y el objetivo es incrementarla a 4.7 equipos mediante la reducción del tiempo en la transición entre bobinas. Para lograrlo, se implementarán estrategias como la conversión de actividades internas en externas, la estandarización de operaciones y la optimización del flujo de trabajo.

El problema central de esta investigación radica en la ineficiencia de la transición entre bobinas, que genera tiempos muertos y reduce el ritmo de producción. Aunque existen estudios sobre SMED en manufactura, su aplicación específica en el devanado de transformadores es poco explorada. Este artículo busca llenar ese vacío, proporcionando un modelo replicable para otras empresas del sector.

En definitiva, mejorar la eficiencia en la transición de bobinas mediante SMED no solo aumentará la capacidad productiva, sino que también impulsará la competitividad de la industria eléctrica en un mercado globalizado. La innovación en los procesos de manufactura es el puente entre la tradición y el futuro, y en este caso, entre cuatro y

4.7 transformadores producidos con la misma infraestructura, pero con una metodología optimizada.

## 2. Revisión de la literatura

El Single Minute Exchange of Die (SMED) es una metodología de manufactura esbelta que busca reducir los tiempos de cambio o preparación de maquinaria y equipos en procesos productivos. Desde su introducción, ha sido ampliamente adoptada en diversas industrias para mejorar la eficiencia y la productividad.

La metodología SMED ha sido ampliamente aplicada en la industria automotriz y manufacturera; sin embargo, en la actualidad, su implementación se ha expandido a diversos sectores como el de servicios, metalmecánica, calzado y alimentos, entre otros. Diversas investigaciones han analizado su impacto en distintos entornos industriales. Davalos *et al.* (2023) realizaron un análisis del impacto de SMED en la productividad industrial mediante una revisión bibliométrica y técnica de investigaciones publicadas entre 2012 y 2022, encontrando que el 61% de los estudios revisados evidencian mejoras significativas tras su implementación, con una reducción promedio del 42% en tiempos de preparación, un aumento del 35% en productividad, una disminución del 15% en costos y una reducción del 8% en mermas, subrayando la importancia de SMED como estrategia clave en la optimización de procesos industriales. Por su parte, Pacheco & Heidrich (2021) exploraron la combinación de SMED con sistemas de preajuste para mejorar la productividad en sistemas de producción, proponiendo un método que fusiona ambas estrategias y validándolo empíricamente a través de un estudio longitudinal en colaboración con la industria. Los resultados evidenciaron una reducción del 87% en el tiempo de preparación, un aumento del 33.8% en la OEE (Overall Equipment Effectiveness) de una máquina etiquetadora, una mejora del 17% en la OEE de la línea de producción, una reducción del 45% en los tamaños de lote y un incremento en la productividad de 48,533 piezas mensuales, impactando en el 90.5% de los ingresos de la empresa. Desde un enfoque ergonómico, Afonso *et al.* (2022) integraron la Gestión de Riesgos con Lean Manufacturing, centrándose en la prevención de lesiones y desarrollando un modelo que combina SMED con análisis ergonómico en una fábrica metalúrgica. A través de herramientas como RULA (Rapid Upper Limb Assessment), REBA (Rapid Entire Body Assessment) y el Índice de Estrés Laboral, lograron reducir el tiempo de configuración en un 55% y minimizar el riesgo de Trastornos Musculoesqueléticos Relacionados con el Trabajo (WMSDs). En el sector metalmecánico, Domínguez *et al.* (2020) analizaron la aplicación de SMED en prensas hidráulicas y troqueladoras, optimizando el cambio de matrices mediante la integración de la metodología 5S y la ejecución de operaciones en paralelo, lo que permitió reducir el tiempo de preparación de maquinaria en un 66.29% e incrementar la capacidad de producción en un 28.91%. De manera

similar, Monteiro *et al.* (2019) se enfocaron en la eliminación de desperdicios y el aumento de la productividad en el área de mecanizado, utilizando el mapeo de procesos con diagramas de flujo y VSM para identificar oportunidades de mejora. La implementación de SMED permitió reducir los tiempos de preparación en un 40% en la fresadora vertical y en un 57% en la fresadora horizontal, optimizando la eficiencia operativa. Vieira *et al.* (2019) aplicaron SMED en el proceso de perfilado en frío en cinco máquinas, logrando una mejora promedio del 10.8% en la OEE, lo que demuestra la efectividad de la metodología en la optimización del tiempo de cambio y la mejora de la eficiencia operativa. Finalmente, Şahin & Koloğlu (2022) demostraron que los ajustes de máquina, que no generan valor agregado, pueden reducirse mediante la aplicación de SMED. En su estudio, implementaron esta metodología en una empresa de fabricación de rodamientos con el objetivo de disminuir el tiempo de configuración en la línea de torneado. Como resultado, los tiempos de configuración se redujeron en más del 45%, permitiendo un aumento significativo en la capacidad de la máquina.

La metodología SMED ha sido aplicada en diversos sectores industriales, destacando su impacto en la industria del calzado, automotriz, alimenticia y otras áreas de manufactura. En el sector del calzado, Acosta *et al.* (2023) implementaron SMED en la máquina No. 4 del área de inyección por moldeo, logrando una reducción del 51.53% en los tiempos de alistamiento y un aumento del 9.5% en la capacidad de producción diaria. De manera similar, Trombeta *et al.* (2020) aplicaron SMED en la inyección de termoplástico TPU sobre tejido, logrando una reducción del 82.60% en el tiempo de cambio de moldes y un incremento del 16.77% en la producción mensual. En el sector automotriz, Basri *et al.* (2019) optimizaron el tiempo de cambio de matriz en una línea de prensa de estampado automotriz en Malasia, reduciendo el tiempo de cambio de 12.51 a 9.41 minutos y logrando una disminución del 62% en comparación con el enfoque convencional. Asimismo, Vieira *et al.* (2020) optimizaron una máquina de embutido profundo mediante SMED y estándares de trabajo, reduciendo en un 38% el tiempo total de configuración y aumentando un 7.7% la disponibilidad OEE. Por su parte, Oliveira & Lima (2023) aplicaron SMED en robots de soldadura, combinándolo con herramientas como el Diagrama de Espaguetti y el análisis ERCS, logrando una reducción del 36% en el tiempo de configuración y una disminución del 43% en los movimientos durante el proceso de cambio. Además, Bhadea & Hegdea (2020) demostraron que SMED puede mejorar la OEE en máquinas de moldeo por inyección, aumentando la productividad en un 25.63%. En la línea de ensamble de autobuses urbanos, Juárez-Vite *et al.* (2023) aplicaron SMED para mejorar la flexibilidad del proceso, logrando una reducción del 56.2% en el tiempo de cambio de modelo. En la industria alimenticia, Castañeda *et al.* (2024) propusieron un modelo que integra TPM, SMED y RCM, logrando una reducción del 72% en fallas mensuales y del 55% en el tiempo de mantenimiento correctivo, lo que optimizó el mantenimiento preventivo en un 65% y redujo pérdidas superiores a USD 99,400.

Asimismo, Stuglik et al. (2019) aplicaron SMED en una línea de embotellado, reduciendo en 1 hora y 13 minutos el tiempo de lavado de mezcladores, lo que permitió extender el tiempo de producción. En otros sectores, GFI Toki et al. (2023) implementaron SMED en cinco plantas industriales, logrando mejoras en eficiencia y cumplimiento de objetivos, con un incremento del 83% en el éxito de los procesos en algunos pisos. Junior et al. (2022) aplicaron SMED en una empresa de petróleo y gas, logrando una mejora del 91.6% en el tiempo de preparación y un aumento del 44.6% en la OEE. Por su parte, Abd Suki et al. (2022) aplicaron SMED en una empresa de fabricación bajo pedido (MTO), logrando una mejora del 29.15% en la productividad y una reducción en los tiempos de configuración. En un enfoque metodológico avanzado, Çelik (2020) combinó SMED con el Diseño de Experimentos Taguchi para minimizar la influencia de factores externos en los tiempos de ajuste, logrando una mejora adicional de 216 minutos en comparación con la aplicación tradicional de SMED. Finalmente, Ene Yağın et al. (2020) optimizaron los tiempos de cambio de matriz en una empresa siderúrgica mediante SMED, reduciendo el tiempo de cambio de matriz interna de 51 a 17 minutos y el de matriz externa de 184 a 70 minutos, lo que representó una mejora del 63% en el tiempo total y una reducción del esfuerzo físico de los operarios. Estos estudios resaltan la versatilidad y efectividad de SMED en distintos sectores industriales, consolidándose como una herramienta clave para la reducción de tiempos improductivos, la mejora en la productividad y la optimización de los recursos operativos. Tras analizar el marco referencial, se observa

que no se han identificado investigaciones previas que apliquen la metodología SMED en la industria del sector eléctrico, particularmente en el proceso de devanado de transformadores.

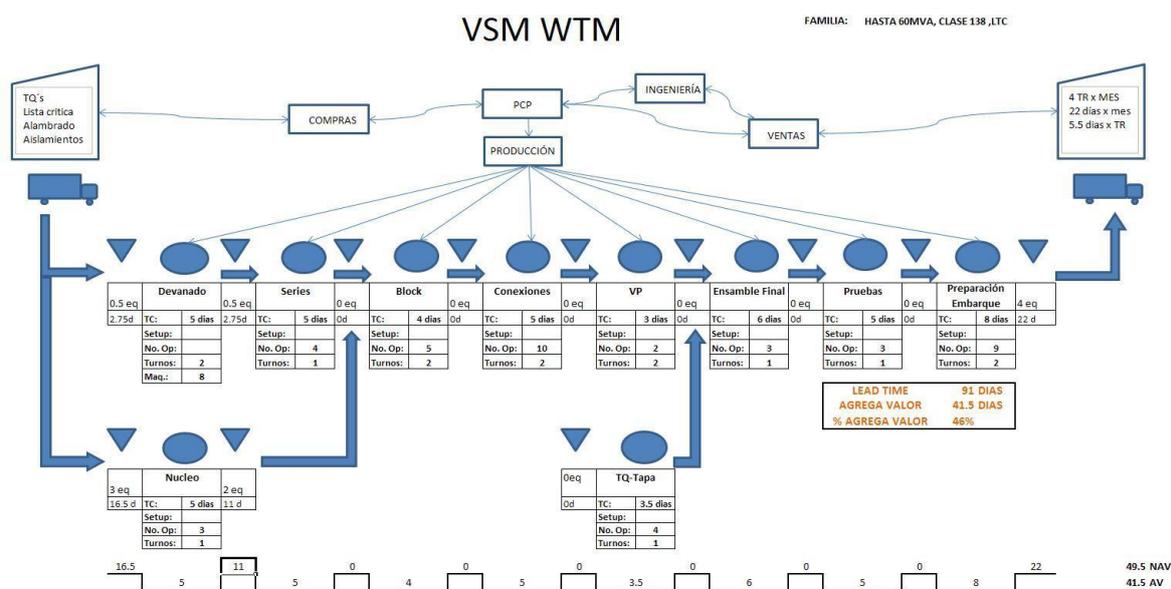
### 3. Método

La solución propuesta en esta investigación se aplicó en una empresa dedicada al ensamble de transformadores eléctricos, específicamente en el área de devanados. Actualmente, el tiempo de ciclo para cada devanado es de 75 horas, lo que permite la fabricación de hasta cuatro equipos por mes. Sin embargo, la demanda proyectada exige incrementar la producción a 4.7 equipos mensuales, lo que requiere reducir el tiempo de ciclo por devanado a 69 horas.

Ante esta situación, la empresa enfrentaba dificultades para cumplir con la demanda, ya que con el tiempo de ciclo actual era imposible alcanzar la producción requerida. Para abordar esta problemática, se buscó fortalecer y optimizar el método de trabajo existente, permitiendo agilizar el ensamble de los devanados y mejorar la capacidad de producción. Como alternativa de solución, se decidió aplicar la metodología SMED.

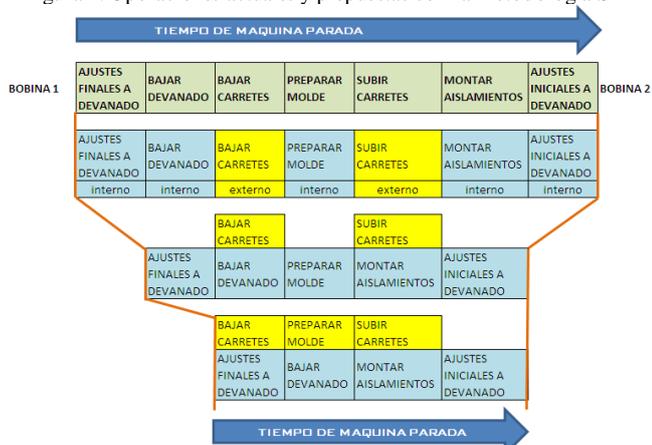
En la Figura 1 se presenta el VSM del proceso de ensamble del transformador, mientras que en la Figura 2 se ilustra la problemática relacionada con el tiempo de fabricación de cada devanado y la solución propuesta para reducir dichos tiempos, adaptándose así a los constantes cambios en las necesidades del cliente.

Figura 1. VSM total de transformador



Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio.

Figura 2. Operaciones actuales y propuestas con la metodología SMED



Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio.

proceso completo de cambio, desde un modelo hasta otro.

2. Diferenciar actividades internas y externas:
  - a. Internas: Solo pueden realizarse cuando la máquina está detenida.
  - b. Externas: Pueden ejecutarse mientras se fabrica el último lote o una vez iniciado el siguiente.
3. Optimizar el proceso de cambio: En cada iteración se busca una mejora significativa en los tiempos de configuración. Puede requerirse varias iteraciones hasta alcanzar el objetivo de cambio en menos de diez minutos.
4. Capacitación continua: Tras una implementación exitosa, es fundamental capacitar a todos los operadores para garantizar la correcta aplicación del método SMED.

Entendiendo la problemática de la empresa y los principios de SMED, se implementó el proceso de la siguiente manera.

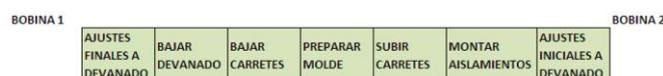
### 3.1. Aplicación del SMED al ensamble de devanados

Esta sección delinea las fases de la implementación de la metodología SMED en el proceso de ensamble de devanados en una planta ensambladora de transformadores. Al analizar las operaciones internas y externas de SMED, con la finalidad de conocer los tiempos de preparación y minimizarlo, lo que contribuye a la eficiencia de la producción durante las horas de operación.

#### 3.1.1 Observar la metodología actual

La línea de ensamble de devanados consta de siete etapas: (1) ajustes finales al devanado, (2) descenso del devanado, (3) descenso de carretes, (4) preparación del molde, (5) elevación de carretes, (6) montaje del aislamiento y (7) ajuste inicial del devanado. Este proceso se ilustra en la Figura 3.

Figura 3. Operaciones actuales en fabricación de devanado.



Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio

Estas operaciones se realizan de una manera secuencial, registrando un determinado tiempo para realizarlo. Lo anterior se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis SMED sistema inicial.

Actividades	Antes (min)
Ajustes finales a devanado	120
Bajar Devanado	35
Bajar carretes	30
Preparar molde	61
Subir carretes	30
Montar aislamiento	63

El método SMED (Single Minute Exchange of Die) es una de las herramientas de Lean Production diseñadas para reducir el desperdicio en los procesos de fabricación. Su objetivo es agilizar y optimizar el cambio de un producto a otro de manera rápida y eficiente, permitiendo minimizar los tiempos de preparación y ajuste.

Esta metodología es fundamental para reducir el tamaño de los lotes de producción, lo que a su vez mejora el flujo de trabajo y la flexibilidad del proceso. En esencia, SMED o cambio rápido se enfoca en disminuir el tiempo requerido para adaptar una línea de producción o una máquina al cambio de referencia, facilitando transiciones más eficientes entre productos (Dave & Sohani, 2012).

La metodología SMED se basa en la reducción del tiempo de configuración de una máquina, diferenciando entre dos tipos de configuraciones: internas y externas.

- Configuraciones internas: Son aquellas tareas que solo pueden ejecutarse cuando la máquina está detenida.
- Configuraciones externas: Son aquellas que pueden realizarse mientras la máquina sigue en funcionamiento.

Según Shingo (1985), "SMED puede aplicarse en cualquier fábrica y a cualquier máquina". Su implementación se enfoca en optimizar el proceso de cambio de referencia y balanceo de líneas de producción, minimizando los tiempos de set up mediante ajustes en el diseño del proceso.

#### Proceso de SMED:

1. Analizar el procedimiento actual: Examinar la metodología vigente mediante la videograbación del

Ajuste inicial a devanado	58
<b>TOTAL</b>	<b>397</b>

Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio

Durante el período de observación, se identificó que los operadores interferían entre sí al ejecutar las tareas y empleaban tiempo adicional en la búsqueda de sus herramientas. El análisis de los datos mostró que el 15 % del tiempo total del proceso correspondía a actividades de configuración externas, mientras que el 85 % restante se destinaba a actividades de configuración internas.

### 3.1.2 Separar las actividades internas y externas

Inicialmente, se elaboró un listado de actividades secuenciales realizadas durante el proceso para identificar cuáles eran internas (realizadas durante la detención de operaciones en la estación) y cuáles eran externas (ejecutadas mientras la estación operaba con normalidad). Para ello, se emplearon técnicas de observación de tiempos y movimientos, además de la videograbación de la línea, con el fin de registrar la duración de cada operación.

Una vez completada la clasificación, el equipo de implementación, basándose en su experiencia, convirtió algunas operaciones internas en externas. Uno de los primeros aspectos abordados fue la operación de bajar carretes. Anteriormente, se invertía tiempo en trasladar la grúa y traer los aislamientos desde su área de almacenamiento hasta la línea de producción. Para optimizar este proceso, se dispusieron los materiales con anticipación. Asimismo, la preparación del molde, originalmente considerada una operación interna, fue objeto de mejoras. Anteriormente, se realizaban actividades como la inspección de medidas del molde y la decisión sobre la configuración de los perfiles estructurales (PTRs) a montar. Para agilizar estas tareas, se implementó una revisión previa del molde y se modificaron las instrucciones de trabajo. Otras actividades, como la búsqueda de llaves, tornillos y herramientas necesarias, fueron optimizadas mediante la modificación del molde para un ensamble más rápido. Estas acciones se pueden visualizar en la Figura 4.

Para evitar retrabajos causados por problemas de ajuste del molde, se diseñó un dispositivo tipo tijera que facilita su colocación. Además, con el fin de mejorar la actividad de posicionamiento y verificación para bajar el devanado, se impartieron capacitaciones y se establecieron marcas específicas en la mesa de trabajo. Finalmente, la búsqueda de PTRs faltantes se redujo mediante la reorganización de los racks de almacenamiento.

Figura 4. Acciones realizadas para las actividades Externas.

MUDA IDENTIFICADA	ACCION
TRAER AISLAMIENTOS	Habilitar materiales antes de su uso
TRAER GRUA	
TRAER GRUA HASTA PUNTO DE USO	
INSPECCIONAR MEDIDA DE MOLDE	Revisión de Molde y cambio en instrucción de trabajo
DECISION DE SIG CONFIGURACION DE PTRS A MONTAR	
BUSQUEDA DE LLAVES	Modificación de Molde para ensamble rápido
PREPARAR TORNILLOS	
BUSCAR TORNILLOS	
RETRAJOS POR NO PODER CALZAR MOLDE	Dispositivo tipo tijera para calzar molde
ESTUDIAR Y VERIFICAR POSICIÓN PARA BAJAR DEVANADO	Capacitación
BUSQUEDA PTRs FALTANTES	Modificación de racks para acomodo de PTRs

### 3.1.3 Agilice el proceso de cambio

Para optimizar los procesos, se realizaron ajustes en las operaciones establecidas. Uno de estos cambios fue la extensión de la cuerda para facilitar el descenso del soporte del plato de contrapunto. Esta mejora se ilustra en la Figura 5.

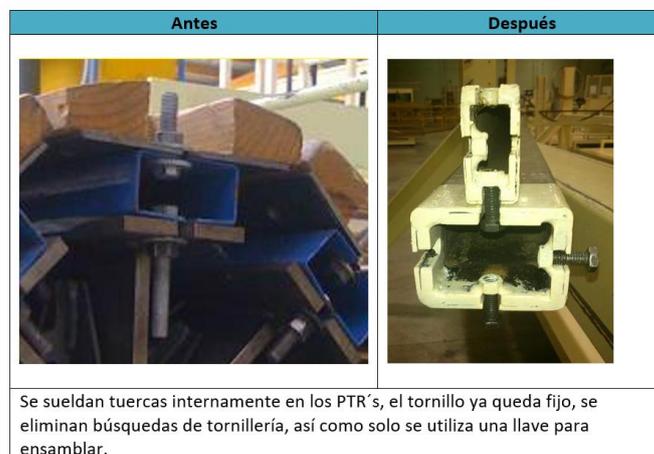
Figura 5. Extensión de cuerda



Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio.

Otro de los cambios implementados fue la optimización del proceso de ajuste de molde, el cual requería un tiempo considerable debido a la búsqueda de tornillos, llaves y la preparación previa. Para solucionar esto, se soldaron tuercas internamente en los PTR's, fijando los tornillos en su lugar y eliminando la necesidad de búsqueda de tornillería. Además, ahora solo se requiere una llave para el ensamblaje, simplificando la operación. Estos ajustes se pueden observar en la figura 6. Adicionalmente, se incorporó una manija y se habilitó una ventana para facilitar el apriete del tornillo prisionero, lo que agiliza aún más el proceso. Este último cambio se muestra en la Figura 7.

Figura 6. Ajustes en preparación de moldes



Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio.

Figura 7. Colocación de manija y ventana para apriete de tornillo



Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio.

Tras la implementación de estos ajustes en la operación de devanados, se llevó a cabo un registro detallado de los tiempos de las operaciones identificadas. Esto permitió evidenciar los cambios realizados y facilitar su comparación con los tiempos previos. El desglose de las operaciones y los tiempos registrados después de aplicar la metodología SMED se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis SMED sistema modificado.

Actividades	Antes (min)
Ajustes finales a devanado	120
Bajar Devanado y Bajar carretes	25
Preparar molde	40
Subir carretes y Montar aislamiento	38
Ajuste inicial a devanado	58
<b>TOTAL</b>	<b>281</b>

### 3.1.4 Capacitación continua

Para llevar a cabo las actividades planteadas, se capacitó al personal del área de devanados en la metodología SMED, con el apoyo de los departamentos de manufactura y calidad. Esta formación, que se mantiene de manera continua, permitió familiarizar al equipo con el concepto y la aplicación de la metodología. Dado que SMED busca reducir los tiempos de cambio a menos de 10 minutos, esta primera implementación representó un avance significativo al disminuir los tiempos previamente manejados, aunque aún se consideran elevados. Se recomienda repetir esta evaluación anualmente para analizar la reducción progresiva de los tiempos y estar preparados ante posibles incrementos en la demanda del cliente.

## 4 Resultados

En este estudio de caso, los dos ciclos de investigación e implementación dieron como resultado una reducción en el tiempo de proceso, así como una mayor fluidez en las operaciones y en el desplazamiento del personal involucrado. La optimización del tiempo operativo permitió aumentar la productividad de la empresa, ya que parte del tiempo anteriormente destinado a operaciones externas se reasignó directamente a la producción.

El éxito en la implementación de SMED se debió, en gran medida, a la optimización del tiempo en cada una de las siete etapas identificadas en el proceso de devanados: 1) Ajustes finales a devanado, 2) Bajar devanado, 3) Bajar carretes, 4) Preparar molde, 5) Subir carretes, 6) Montar aislamiento y 7) Ajuste inicial a devanado. La redefinición de tiempos y secuencias de trabajo, junto con mejoras como la habilitación anticipada de materiales, revisión y ajuste de moldes, modificación de moldes para ensamble rápido, capacitación del personal, marcajes específicos en las mesas de trabajo y reorganización de los racks para almacenamiento de PTRs, permitió reducir el tiempo del proceso de devanados de 397 a 281 minutos. Esto representa una disminución de 116 minutos, equivalente al 29.2 % del tiempo total empleado. La comparación detallada de los tiempos antes y después de la implementación de SMED se presenta en la Tabla 3, donde se evidencia la mejora obtenida.

Tabla 3. Análisis SMED.

Actividades	Antes (min)	Con SMED (min)	Mejoras	Porcentaje de ganancia por actividad (%)
Ajustes finales a devanado	120	120	0	0
Bajar Devanado	35	25	10	28.6
Bajar carretes	30	0	30	100
Preparar molde	61	40	21	34.4
Subir carretes	30	38	-8	-26.7
Montar aislamiento	63	0	63	100
Ajuste inicial a devanado	58	58	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>397</b>	<b>281</b>	<b>116</b>	<b>29.2</b>

El takt time se determina a partir de la relación entre el tiempo disponible de producción y la demanda del cliente, lo que permite establecer el ritmo de fabricación necesario para satisfacer los requerimientos del mercado. Antes de la implementación de SMED, el takt time registrado era de 75 horas, lo que permitía la producción de 4 transformadores al mes. Este valor se calculó considerando el tiempo total disponible en un mes, el cual es el resultado del número de horas trabajadas por día multiplicado por los días laborables. Así, el takt time antes de SMED se obtenía dividiendo el tiempo disponible mensual entre la demanda de 4 equipos, resultando en 75 horas por transformador. Tras la aplicación de SMED, se logró reducir el tiempo de devanado a 72.5 horas, lo que permitió incrementar la producción a 4.86 transformadores mensuales. Dado que el tiempo disponible en

el mes se mantuvo constante, el nuevo takt time se calculó dividiendo el tiempo total disponible entre la nueva producción proyectada de 4.86 equipos, obteniendo así 72.5 horas por transformador. Esta reducción refleja una mayor eficiencia operativa y un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles sin necesidad de incrementar la jornada laboral o realizar inversiones en infraestructura.

La implementación de SMED se orientó a alinear la producción con la demanda proyectada de 4.7 transformadores mensuales, lo que permitió acercarse a la meta de fabricación requerida y optimizar el flujo de trabajo. Además de reducir el takt time, esta mejora facilitó la organización del proceso, eliminando tiempos improductivos y mejorando la ejecución de las actividades. Aunque al principio se experimentó resistencia por parte del personal, los operadores adoptaron rápidamente la metodología al notar que no aumentaba su carga laboral, sino que estructuraba mejor sus tareas. Como resultado, la optimización de procesos no solo incrementó la productividad, sino que también generó un ambiente laboral más eficiente y favorable para la adopción de futuras mejoras.

## 5 Conclusiones

La implementación de la metodología SMED en el proceso de devanado de transformadores permitió optimizar significativamente los tiempos de producción y mejorar la eficiencia operativa. Uno de los principales logros fue la reducción del tiempo de proceso en un 29.2%, pasando de 397 a 281 minutos, lo que representó un ahorro de 116 minutos por devanado. Esta optimización tuvo un impacto directo en la capacidad de producción, ya que el takt time disminuyó de 75 a 72.5 horas, permitiendo incrementar la fabricación de 4 a 4.86 transformadores mensuales, alineándose de manera más eficiente con la demanda proyectada. Además, se logró una mejor gestión de las actividades internas y externas, identificando y transformando tareas que anteriormente requerían la detención del proceso en actividades que podían realizarse en paralelo, como la preparación de moldes y la búsqueda de herramientas, lo que eliminó tiempos improductivos y mejoró el flujo de trabajo. Paralelamente, se implementaron mejoras en ergonomía y organización, mediante la incorporación de dispositivos de ajuste, marcas de posicionamiento y una reorganización de materiales, lo que facilitó el trabajo de los operadores y redujo el esfuerzo físico requerido en el proceso. Aunque en un inicio hubo resistencia por parte del personal, con el tiempo los operadores aceptaron la metodología al notar una mejor organización en sus tareas, menor esfuerzo y una mayor fluidez en sus actividades diarias. Finalmente, la aplicación de SMED no solo permitió optimizar los recursos sin necesidad de realizar inversiones en infraestructura, sino que también contribuyó a mejorar la productividad y rentabilidad de la empresa, fortaleciendo su competitividad en el mercado. En términos generales, esta implementación demostró ser una estrategia altamente efectiva para la fabricación de transformadores, logrando reducir los tiempos de preparación, aumentar la capacidad productiva y mejorar la eficiencia operativa sin incrementar los costos.

A pesar de los beneficios obtenidos, la investigación presentó ciertas limitaciones. Dado que el estudio se centró en el proceso de devanados de transformadores eléctricos, los resultados pueden no ser extrapolables a otros sectores o procesos dentro de la misma empresa. Asimismo, al tratarse de la primera iteración de SMED, aún existen oportunidades de mejora para alcanzar el objetivo de reducir los tiempos de cambio a menos de 10 minutos, tal como establece la metodología. Otro desafío identificado fue la resistencia inicial del personal, ya que la percepción de una mayor carga de trabajo dificultó la aceptación del nuevo proceso. Sin embargo, con el tiempo, los operadores lograron adaptarse y reconocer los beneficios de la metodología. Adicionalmente, algunas mejoras podrían requerir inversión en herramientas más avanzadas, como sistemas automatizados para la manipulación de componentes, lo que representa una limitación tecnológica a considerar en futuras optimizaciones. Finalmente, la metodología se aplicó bajo una demanda proyectada de 4.7 transformadores mensuales, por lo que eventuales variaciones en los requerimientos del mercado podrían exigir nuevas adaptaciones del proceso para mantener la eficiencia y cumplir con los niveles de producción requeridos.

## Referencias

- Abd Suki, N. S., Abu Bakar, E., Ansari, E. I., & Akhtar, M. N. (2020). Single minute exchange die approach for optimising setup time in labelling printing company. *Journal of Engineering Science*, 16(2), 35–56. <https://doi.org/10.21315/jes2020.16.2.2>
- 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>
- Afonso, M., Gabriel, A. T., & Godina, R. (2022). Proposal of an innovative ergonomic SMED model in an automotive steel springs industrial unit. *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, 4, 100075. <https://doi.org/10.1016/j.aime.2022.100075>
- Basri, A. Q., Mohamed, N. M. Z. N., Yasir, K. A. S. H. M., Fazi, H. M., & Fudzin, A. F. (2019). The validation of productivity on the changeover activity at the automotive stamping press line by comparing the embedded SMED framework versus SMED approach: A witness simulation case study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 469, 012005. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/469/1/012005>
- Bhade, S., & Hegde, S. (2020). Improvement of Overall Equipment Efficiency of Machine by SMED. *Materials Today: Proceedings*, 24, 463–472. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.298>
- Castañeda, S., Rodríguez, S., Yildiz, O., Aranda, D., & Alvarez, J. C. (2024). Increase of the Availability of Machinery in a Food Company Applying the TPM, SMED and RCM Methodologies. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 72(8), 128–138. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V72I8P114>
- Castillo, E. (6 de noviembre de 2024). El Gobierno de Sheinbaum abre la puerta a la inversión privada para fortalecer el sector energético. El país. <https://elpais.com/mexico/2024-11-06/el-gobierno-de-sheinbaum-abre-la-puerta-a-la-inversion-privada-para-fortalecer-el-sector-energetico.html>
- Çelik, H. (2020). Ayar sürelerinin azaltılmasına yönelik yeni yaklaşım: SMED Taguchi yöntemi. *Sakarya Üniversitesi İşletme Enstitüsü Dergisi*, 2(1), 13–26.
- CICenergiGUNE. (10 de diciembre de 2024). Las baterías en 2025: Tendencias, Innovación y Desafíos. <https://cicenergigune.com/es/blog/baterias-2025-tendencias-innovacion-desafios>.
- Davalos Roman, E. J., Luna Usquiano, E. A., Miñan Olivos, G. S., Valderama Puncan, M. W., & Rivera Ramírez, Y. V. (2023). Single Minute Exchange of Die (SMED) to improve productivity in the industrial sector. A systematic review of the literature from 2012 to 2022. *Proceedings of the 21th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education*

- and Technology (LACCEI 2023): <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.489>
- Dave, Y. & Sohani, N. (2012). Single Minute Exchange of Dies: Literature Review. *International Journal of Lean Thinking* Volume 3, Issue 2
- Domínguez, A., Ortiz, D., Naranjo, I., & LLugsa, J. (2020). Aplicación de la metodología SMED en proceso de cambio de matrices en la industria metalmeccánica: Caso Ecuador. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, E37, 140–152. <https://www.proquest.com/docview/2472669151?fromopenview=true&pq-riqsite=gscholar>
- Ene Yalçın, S., Akin, S., Elmas, B., Eren, M., & Gunduz, T. (2020). Çelik boru imalatında hazırlık sürelerine yönelik yalın üretim ve SMED çalışması. *Endüstri Mühendisliği*, 31(1), 87-104.
- Gómez, B. (10 de diciembre de 2024). Tendencias para 2025 en la industria energética y la tecnología. *El Nacional*. <https://www.elnacional.com/opinion/tendencias-para-2025-en-la-industria-energetica-y-la-tecnologia/>
- HuffPost. (31 de enero de 2025). Europa da otro paso en su desconexión rusa: un nuevo país cambia la red eléctrica por generadores domésticos. <https://www.huffingtonpost.es/global/europa-da-paso-desconexion-rusa-nuevo-pais-cambia-red-electrica-generadores-domesticos.html?>
- INDIANAMICHIGANPOWER. (16 de enero de 2025). Tendencias Energéticas para Instalaciones en 2025. <https://espanel.indianamichiganpower.com/savings/home/energy-solutions/>
- INEGI. (2023). Estadísticas del sector manufacturero en México.
- Juárez-Vite, A., Corona-Armenta, J. R., Rivera-Gómez, H., Montañó-Arango, O., & Medina-Marín, J. (2023). Application of the SMED methodology through folding references for a bus manufacturing company. *IJIEM*. <https://doi.org/10.24867/IJIEM-2023-3-335>
- Junior, R. G. P., Inácio, R. H., & da Silva, I. B. et al. (2022). A novel framework for single-minute exchange of die (SMED) assisted by lean tools. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119, 6469–6487. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08534-w>
- La capital. (4 de enero de 2025). Tendencias y perspectivas del sector energético en 2025. [https://www.lacapital.com.mx/noticia/105570-Tendencias\\_y\\_perspectivas\\_del\\_sector\\_energetico\\_en\\_2025](https://www.lacapital.com.mx/noticia/105570-Tendencias_y_perspectivas_del_sector_energetico_en_2025)
- MEISA. (10 de enero de 2025). Las baterías en 2025: Industrias en México 2025: tendencias hacia la sostenibilidad y digitalización. <https://www.monterreyelectrico.com.mx/industrias-en-mexico-2025/>
- Monteiro, C., Ferreira, L. P., Fernandes, N. O., Sá, J. C., Ribeiro, M. T., & Silva, F. J. G. (2019). Improving the Machining Process of the Metalworking Industry Using the Lean Tool SMED. *Procedia Manufacturing*, 41, 555–562. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.09.043>
- Oliveira, C., & Lima, T. M. (2023). Setup Time Reduction of an Automotive Parts Assembly Line Using Lean Tools and Quality Tools. *Eng.* 4(3), 2352-2362. <https://doi.org/10.3390/eng4030134>
- Ordaz, Y. (19 de diciembre de 2025). Energía nuclear, almacenamiento eléctrico y electromovilidad; las tendencias en 2025: Quartux. MILENIO. <https://www.milenio.com/negocios/tendencias-2025-energia-nuclear-almacenamiento-electromovilidad>
- Pacheco, D. A. de J., & Heidrich, G. D. G. (2021). Revitalising the setup reduction activities in Operations Management. *Production Planning & Control*, 34(9), 791–811. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1964881>
- Reuters. (30 de enero de 2025). Global energy transition investment exceeded \$2 trillion last year, report shows. <https://www.reuters.com/business/energy/global-energy-transition-investment-exceeded-2-trln-last-year-report-shows-2025-01-30/>
- Şahin, R., & Koloğlu, A. (2022). A Case Study on Reducing Setup Time using SMED on a Turning Line. *GAZI University Journal of Science*, 35, 60-71. <https://doi.org/10.35378/gujs.735969>
- Shingo, S. (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Productivity Press.
- Silva, A., Sá, J. C., Santos, G., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., & Pereira, M. T. (2020). Implementation of SMED in a cutting line. *Procedia Manufacturing*, 51, 1355–1362. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.189>
- Stuglik, J., Gródek-Szostak, Z., & Kajrunajtys, D. (2019). The use of the SMED method in improvement of production enterprises. *E3S Web of Conferences*, 132, 01022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913201022>
- Toki, G. F. I., Ahmed, T., Hossain, M. E., Alave, R. K. K., Faruk, M. O., Mia, R., & Islam, S. R. (2023). Single Minute Exchange Die (SMED): A sustainable and well-timed approach for Bangladeshi garments industry. *Cleaner Engineering and Technology*, 12(100592), 100592. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100592>
- Trombeta, P., Souza, J., Biehl, L., & Medeiros, J. (2020). Redução do tempo de troca de moldes com SMED - Single Minute Exchange of Die and Toll em uma indústria de calçados. *Revista Produção Online*, 24, 43-58. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12317252.v1>
- Vieira, A., Silva, F., Campilho, R., Ferreira, L., & Pereira, J. (2020). SMED methodology applied to the deep drawing process in the automotive industry. *Procedia Manufacturing*, 51, 1416-1422. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.197>
- Vieira, T., Sá, J., Lopes, M., Santos, G., Félix, M., Ferreira, L., Silva, F., & Pereira, M. (2019). Optimización del proceso de perfilado en frío a través de SMED. *Procedia Manufacturing*, 38, 892-899. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.171>
- Womack, J., & Jones, D. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Free Press.
- WORLDENERGYTRADE. (28 de diciembre de 2024). Las tendencias que definirán los mercados energéticos en 2025. <https://worldenergytrade.com/las-tendencias-que-definiran-los-mercados-energeticos-en-2025/>