

SMED: Implementación en la industria automotriz

SMED: Implementation in the automotive industry

Romo, María^{1*}; Ayala, Dolores; Rosales, Miguel

Tecnológico Nacional de México/ITS de Purísima del Rincón, México.

[*baudelia.rn@purisima.tecnm.mx](mailto:baudelia.rn@purisima.tecnm.mx)

Resumen

En una planta de transformación de polímeros en Guanajuato dedicada a la fabricación de partes plásticas de vehículos, se realizó una investigación aplicada que tiene como objetivo optimizar el tiempo de cambio de molde de la máquina 400 1HL, tomada como muestra debido al demasiado tiempo al momento de realizar el cambio, que como resultado disminuye el tiempo de producción. La metodología realizada fue: análisis inicial, formación de equipo de trabajo, condición actual, implementación del SMED con apoyo de ciclo PHVA donde (Planear es la etapa preliminar, Hacer: separación de actividades externas e internas, Verificar: Convertir actividades internas en externas, Actuar: perfeccionar actividades y seguimiento) y evaluación de resultados. Los resultados encontrados demostraron con la implementación de que disminuyó en 37% en promedio el tiempo de cambio de molde, además que el OEE incrementó 20% en promedio, se concluyó que la herramienta reduce de manera considerable el tiempo de cambio de molde por lo que el objetivo se logró.

Palabras claves: Máquina, Mejora, OEE, PHVA, SMED

Abstract

In a polymer transformation plant in Guanajuato dedicated to the manufacture of plastic vehicle parts, an applied research was carried out with the objective of optimizing the mold change time of the 400 1HL machine, taken as a sample due to the excessive use of time performing the change of mold, which as a result decreases the production time. The methodology carried out was: initial analysis, formation of a work team, current condition, implementation of the SMED with the support of the PDCA cycle where (Plan is the preliminary stage, Do: separation of external and internal activities, Check: Converting internal activities into external ones, Act: perfecting activities and monitoring) and evaluation of results. The results found demonstrated that with the implementation the mold change time decreased by 37% on average, in addition to the OEE increasing by 20% on average, it was concluded that the tool considerably reduces the mold change time so the objective was achieved.

Keywords: Machine, Improvement, OEE, PDCA, SMED

1 Introducción

La industria automotriz a nivel global es extremadamente exigente; Guanajuato es uno de los principales corredores automotrices, produce el 20.48% de los vehículos ligeros hechos en México y utiliza actualmente un 75.9% de su capacidad instalada en las armadoras de Toyota, Honda, Mazda y GM (Industrial, 2023), el gran crecimiento del sector ha generado la necesidad de evolucionar en sus procesos y adoptar metodologías de mejora continua.

El problema que se trató en esta investigación aplicada fue el demasiado tiempo al realizar el cambio de molde, esto en una planta de partes plásticas localizada en Guanajuato, México; como respuesta se planteó el objetivo Optimizar el tiempo de cambio de molde en un 15% de una máquina 400 1HL que genera más paros debido al cambio de producto, con la implementación del SMED (Single Minute Exchange of Die).

La metodología SMED fue desarrollada por Shigeo Shingo entre 1950 y 1960, surgió por la necesidad de reducir el tamaño del lote, ya que existía improductividad debido al cambio de troqueles en la planta Toyota, Shingo da seguimiento a un cambio de una prensa de 1000 toneladas que tardaba 240 min, a partir de los ajustes internos y externos con el entendimiento de los mismos y la implementación del SMED se logró disminuir a 90 minutos, de allí la importancia de la herramienta (Shingeo, 1993). Espín (2013) argumenta que la técnica SMED convierte el tiempo improductivo en productivo, reduce el tiempo de cambio, y estandariza procesos de cambio de herramienta y Rodríguez (2014) argumenta que el SMED es un método eficaz con gran potencial para la reducción de tiempos de manera simple e intuitiva, ya que no requiere grandes inversiones. Según Calad y Hincapié (2014) la implementación de la herramienta SMED surge en respuesta al aumento demanda en una empresa, debido a que los tiempos de cambio de molde minimizaban el tiempo de producción, con la implementación se obtuvo ahorro en el tiempo por montaje.

Los inventarios de piezas de equipos, de repuestos de equipos como el de herramientas aseguran la disponibilidad de los equipos para la implementación eficiente del SMED (Padilla et al., 2016). Además, al implementar el SMED en una empresa manufacturera de PVC y PEAD se lograron reducir los tiempos de abastecimiento en equipos de molienda y permitieron incrementar el trabajo efectivo (Hualla et al., 2017). Según Bolaños y otros (2019) mediante la aplicación del SMED con la combinación de herramientas 5'S, VSM y Six Sigma, en diferentes procesos productivos de radiadores se logró una mayor producción debido a la optimización de los tiempos de producción. En un estudio de diferentes implementaciones del SMED se identificó que mejora la productividad en tiempo de producción hasta en un 42% de los estudios recopilados, mejora de productividad operativa en

un 35%, mejora del costo en un 15% y la disminución de mermas en un 8% (Davalos et al., 2023).

2 Marco Teórico

2.1 Ciclo de PHVA (Plan-Hacer-Verificar-Actuar)

Según la norma NMX-CC-IMNC-2015 (ISO 9001-2015) el ciclo PHVA permite a una organización asegurarse de que sus procesos cuenten con recursos y se gestionen adecuadamente, y que las oportunidades de mejora se determinen y se actúe en consecuencia.

Planificar: Establecer objetivos y procesos necesarios para lograr los resultados deseados.

Hacer: Implementar los procesos planificados y ejecutar las actividades conforme a lo establecido.

Verificar: Evaluar y medir el desempeño de los procesos para asegurar que los resultados estén alineados con los objetivos.

Actuar: Tomar medidas correctivas basadas en los resultados de la evaluación para mejorar continuamente los procesos.

2.2 SMED

El Sistema de Producción Toyota o TPS por sus siglas en inglés, fue desarrollado por Toyota Motor Corporation, es un avanzado sistema de diseño, control y gestión de la producción, mejorando la calidad y la confiabilidad de sus procesos de manufactura, eliminando desperdicios. (Socconini, 2017). El TPS es la base de la manufactura esbelta la cual ha sido tendencia dentro de las empresas mundiales en los últimos años. La herramienta SMED, es una herramienta operativa, la cual con soporte de herramientas de diagnóstico y seguimiento provocan la mejora de los procesos (Hernández y Vizán, 2013). El sistema SMED fue desarrollado por el Shigeo Shingo a través del estudio teórico y práctico de la mejora del proceso de preparación de máquinas, tanto el análisis como la realización son fundamentales para el SMED y deben ser considerados en cualquier programa de mejora. (Shingo, 1990). En el sistema SMED existen dos tipos de operaciones internas y externas (Villaseñor y Galindo, 2007) La implementación de SMED requiere de un análisis previo para comprender claramente el proceso del cambio, con la finalidad de conocer a detalle cada una de las operaciones de preparación.

Con esta herramienta es posible mejorar los siguientes aspectos dentro del entorno productivo: (Tornos et al., 2012)

- Capacidad de producir
- Reducción de stock
- Mejora en el servicio de los clientes

Al aprovechar al máximo los recursos, se mejora la capacidad productiva del proceso, disminuyendo tiempos, incrementando la satisfacción del cliente.

Proceso de implementación de SMED (Madariaga, 2021)

- Analizar el cambio en operaciones
- Separación de operaciones externas e internas.

- Convertir operaciones internas en externas.
- Reducir operaciones internas
- Reducir las operaciones externas

Proceso 1: Para comenzar a explicar el proceso se debe definir una operación interna y una externa:

- Interna: Son aquellas en las cuales el proceso o la máquina debe detenerse para realizar el cambio de herramienta. (Muñoz, et al., 2022)
- Externas: Son aquellas operaciones que se realizan cuando la máquina está funcionando (Dávila y Manuel, 2012)

El analizar el proceso de forma multidisciplinar con la participación de personal de producción, ingeniería, mantenimiento, mejora continua, además es importante realizar diagramas de proceso. Se recomienda grabar el cambio. (Medina, 2021)

Proceso 2: La separación de las actividades es identificar las operaciones que se puedan realizar con la máquina funcionando y las operaciones que deban realizarse cuando la máquina está detenida. (González, et al., 2017)

Proceso 3: En este proceso es necesario modificar el diseño de utillaje, además, es vital la implementación de las 5'S. Las 5 S se refieren a 5 palabras en japonés que describen una metodología útil en el lugar de trabajo; esas 5 palabras, iniciadas todas con la letra S, conducen a tener una mayor eficiencia en el trabajo, basándose en el control visual y en la producción Lean. Los 5 términos en japonés son: (Villaseñor y Galindo, 2017)

- Seiri (Clasificación): separar los artículos necesarios de los innecesarios,
- Seiton (Organizar): asignar un lugar para cada objeto,
- Seiso (Limpieza): dar mantenimiento a los objetos,
- Seiketsu (Estandarizar): sistematizar los procesos y los métodos de trabajo,
- Shitsuke (Disciplina): repetir con regularidad las primeras 4 S. (Rajadell y Sánchez, 2010)

Proceso 4: Una vez analizadas las operaciones, e implementando las 5'S, se puede identificar operaciones innecesarias además de reducir las operaciones internas, ajustes, y estandarizando preparación de la máquina. (Melquiades, et al., 2019)

Proceso 5: Es reducir las operaciones externas, en lo referente al operador disminuir los tiempos de búsqueda, movimientos y espera. (Restrepo, et al., 2009)

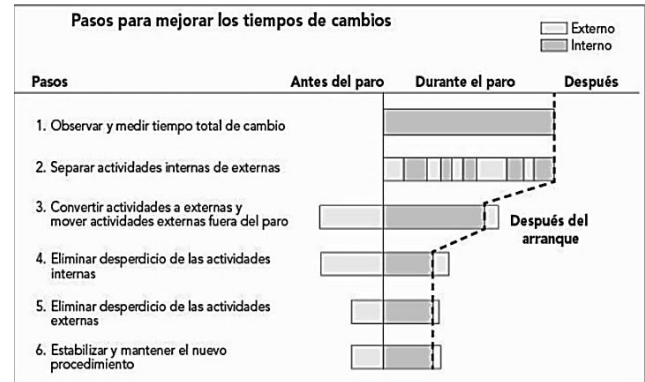


Fig. 1. Proceso de SMED (Socconini, 2017)

3 Procedimiento Experimental

La metodología surge del Kaizen o mejora continua, se hará la identificación del problema hasta llegar a la estandarización, finalizando con la mejora a partir de los resultados. Con base a lo anterior se propone la metodología esquematizada en la figura 2 que muestra el ciclo de mejora continua propuesto PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar)

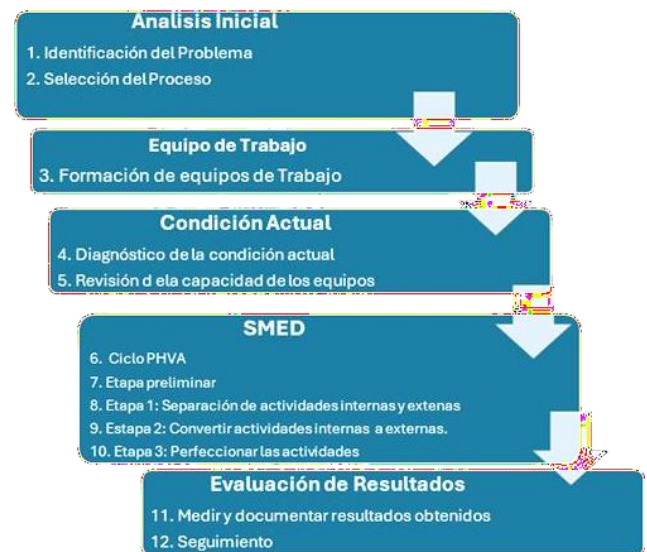


Fig. 2. Proceso de SMED con ciclo PHVA (Elaboración propia)

3.1 Análisis inicial

El proyecto se llevó a cabo en el área de inyección de plásticos, el lugar donde las máquinas fabrican diversas piezas de plástico para la industria automotriz. El área de inyección cuenta con 8 máquinas diferentes, cada máquina usa moldes en específico, debido a que la fuerza de inyección cambia dependiendo el modelo de la máquina, cada inyección y molde requiere una presión distinta. En cada máquina se montan moldes diferentes.

La máquina de inyección modelo 400 1LH ejerce una presión 400 toneladas según las características técnicas

3.1.1 Cambios de molde.

Se denominará molde A al molde que se reemplazará y molde B, al que lo sustituirá. El proceso de cambio de molde inicia cuando la máquina termina la producción programada (último tiro) y finaliza cuando inicia la nueva producción (primer tiro). Cuando termina la producción el tool setter (Operadores de la maquinaria de inyección encargados del arranque y cambio de herramientas de las máquinas) inicia con el cambio de molde, se dirige a la zona de moldes y verifica que el molde B se encuentre en zona OK, preparará la herramienta y la grúa de transporte para llevar el molde B a la máquina donde se realizará el cambio, se coloca un puente y se engancha con la grúa, lo acerca hasta la máquina, lo baja en el área designada de trabajo, desengancha el molde B y dirige la grúa a molde A, coloca el puente del molde A, purga los sistemas de refrigeración, desconecta las mangueras, hotrunners (sistema de canal caliente) y cables de comunicación, abre la platina móvil, quita la barra de expulsores, engancha el molde, quita las grapas o en caso de bujes desactiva el agarre hidráulico, engancha el molde A y lo retira, lo acerca hasta el molde B, desengancha molde B y engancha molde A, lo sube a la máquina, coloca en la platina fija, lo asegura con las grapas o con la sujeción hidráulica, coloca la barra de expulsores y cierra la platina móvil, quita el puente y conecta las mangueras de refrigeración, hotrunners y cable de comunicación se conecta la línea de alimentación del material, se carga el programa y se configuran los parámetros de producción y se inicia con la producción.

3.1.2 Identificación de las áreas de trabajo

El Layout de planta se muestra en la figura 3, la cual está dividida por áreas para su mejor comprensión en la implementación del SMED.

- Área verde: Máquinas de inyección.
- Área azul: Zona de moldes.
- Área amarilla: Zona de materiales.
- Área roja: Grúa.

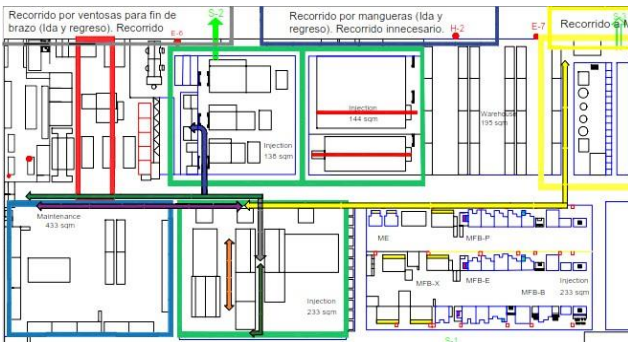


Fig. 3. Recorridos en planta para cambio de molde (Elaboración propia)

La formación del equipo de trabajo se eligió a todos los tool setter del turno A, personal de mantenimiento e ingenieros de planta ya que son los involucrados directos del proceso, a su vez se incluye a representantes de cada área que cuenten con conocimiento del proceso de cambio de molde. El equipo de trabajo se capacita sobre la herramienta SMED, y la importancia en su productividad.

3.2 Ciclo PHVA

3.2.1. Plan

Se seleccionó la máquina 400 1HL, como inicio para replicar en las demás, esto debido a que el equipo es importante en su clasificación, por lo que el no atender la problemática afectaría el plan de producción. Este es un problema importante ya que, si se atrasa el plan de producción es probable que se tengan problemas con las entregas a los clientes y provocaría reclamos, multas, pérdidas de clientes e ingresos.

En la máquina se 400 1HL se montan los siguientes moldes:

- 117553
- 117781
- 117567
- 117654/117740
- 177577

Primer Análisis: Máquina por Operador, los operadores 1 y 2 se mueven entre sus respectivas máquinas, mientras que los operadores 3 y 4 quedan fijos en las máquinas 400 2 HL y 400 3HL.

Según Niebel y Freivalds, (2009) el diagrama de flujo proceso se utiliza para analizar las operaciones, por lo que se utilizó para analizar el cambio de molde. En las tablas 1 y 2, se observa parte del análisis, tiene 59 operaciones con un tiempo total de 54.21 minutos y 146 metros recorridos que toma en cuenta molde A: Molde de Montado en máquina; Molde B: Molde que será Montado.

Tabla 1. Diagrama de Flujo de Proceso hoja 1 (Elaboración propia)

Diagrama de Flujo de Proceso					Hoja 1-2
Empresa : Arnese ​ s y partes pl ​ sticas	Proceso:		Inyecci ​ on de la Maquina 400 1HL		
Analista: Ing. Baudelia Romo	Mold 117654/117740		Fecha		03-jul-23
Reviso: Ing. Miguel Angel Rosales	117553/117781/117567				
Descripci ​ on	antida	Tiem po	Dist. (M)	Simbolo	Observaciones
Revisar que molde B sea OK	1	0.66			
Ir por grúa	2	0.58	23.2		
Llevar grúa a molde B	3	0.5	4		
Colocar cáncamo o eslinga	4	0.08			
Enganchar molde B con grúa	5	0.12			
Llevar molde B a Máquina 400 1HL	6	1.65			
Desenganchar molde B	7	0.16	27.2		
Acercar grúa a molde A	8	0.23	7.5		
Registrar tiros molde A	9	1.34			
Retirar unidad de inyecci ​ on	10	0.45			
Retirar material de cavidades molde A	11	0.25			
Continua...	:	:			

Tabla 2. Diagrama de Flujo de Proceso hoja 2 (Elaboración propia)

Diagrama de Flujo de Proceso					Hoja 2-2
Empresa : Arnéses y partes plástica		Proceso:		ección de la Máquina 400 1	
Analista: Ing. Baudelia Romo		Molde 117654/117740		Fecha 03-jul-23	
Revisó: Ing. Miguel Angel Rosales		117553/117781/117567			
Descripción	antida	Tiem po	Dist. (M)	Simbolo	
				O	bservacione
Montar molde B	29	1.87		D	
oplar molde con guías de máquina 400 1	30	0.87		E	
Colocar barra de expulsores	31	0.26		V	
Cerrar plantina móvil	32	0.74			
Fijar molde	33	0.16			
Continúa...	:	:			
Sujeción de placas	49	0.53			
Ajustar altura de molde	50	0.2			
r flomo (Corriente sistema de refrigerac	51	0.1			
Llenado de checklist	52	1.95			
Ajustar valores de caudal	53	3.83			
Configurar expulsores	54	0.9			
Purgar nuevamente unidad de inyección	55	1.77			
Acercar unidad de inyección a bebedero	56	0.85	1		
Colocar desmoldante	57	0.47			
Cerrar molde	58	0.11			
Revisar funcionamiento de robot	59	0.99			
Totales					
Primeros tiros OK (Inicio de Producción)	59	54.21	146		

Después de realizar el análisis del proceso se realizó un análisis de precedencia de las operaciones el cual se presenta en la tabla 3, se muestra de manera parcial para identificar la secuencia entre operaciones y generar estrategias de mejora.

Tabla 3. Precedencia de Actividades (Elaboración propia)

Precedencia de Actividades						
Empresa : Arnéses y partes plásticas		Proceso:		Iyección de la Máquina 400 1H		
Analista: Ing. Baudelia Romo		Mold 117654/117740		Fecha		08-ago-23
Revisó: Ing. Miguel Angel Rosales		117553/117781/117567				
CÓDIGO	ACTIVIDAD	ACTIVIDA D	Duración	Inicio	Fin	Observación
A	Revisar que molde B OK	----		0.000	0.667	
B	Ir por grúa	A	0.583	0.668	1.250	
C	Llevar grúa a molde B	B	0.500	1.251	1.751	
D	Colocar cáncamo o slinga	C	0.083	1.751	1.834	
E	Enganchar molde B con grúa	D	0.117	1.833	1.950	
F	Llevar molde B a Máquina 400 1HL	E	1.650	1.950	3.600	
G	Desenganchar molde B	F	0.167	3.600	3.767	
:	:	:	:	:	:	
AZ	Configurar expulsores	AD, AN	0.900	49.2	50.1	
BA	Purgar nuevamente unidad de inyección	AW	1.770	50.1	51.9	
BB	Acercar unidad de inyeccion a bebedero	BA	0.850	51.9	52.7	
BC	Colocar desmoldante	BB	0.467	52.7	53.2	
BD	Cerrar molde	BC	0.117	53.2	53.3	
BE	Revisar funcionamiento de robot	BD	0.990	39.3	54.9	
BF	Primeros tiros OK (Inicio de producción)	BE			54.2	

Una vez realizado el análisis del proceso se realiza un diagrama causa-efecto para identificar las causas inherentes al excesivo consumo de tiempo de cambio de molde el que se muestra en la figura 4.

En la figura 4 se muestran las principales causas que provocan el largo tiempo de cambio de molde, cabe mencionar que se realizó con todo el equipo SMED; se llegó a los siguientes puntos:

Causas más importantes

- No Contar con las herramientas preparadas y listas para el cambio de molde, ya que provoca que los tool setter busquen lo que van requiriendo durante el cambio.
- Al mani0pular incorrectamente los fines de brazo se pierden las ventosas lo que provoca que retiren la ventosa de otro fin de brazo, al no contar con los fines de

brazo en óptimas condiciones se provocan pérdidas de tiempo.

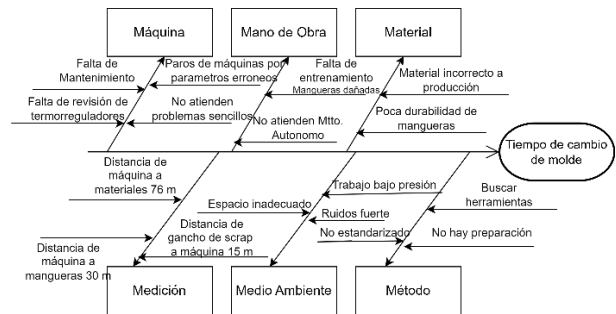


Fig. 4. Diagrama Causa-Efecto, (Elaboración propia)

- Malas prácticas al no colocar herramientas/materiales en su respectivo lugar después de su uso.
- Mangueras dañadas conectadas al manifold provocando fugas y pérdida de tiempo al reemplazarlas.
- Actividades del cambio de molde no estandarizadas.
- Realizar operaciones innecesarias durante el cambio.
- Paros de máquina que se deben atenderse de inmediato

Medidas de Solución

De acuerdo con lo anterior, se consideran las siguientes medidas:

- Separación de actividades internas y externas.
- Revisión de termostatos
- Asegurar cumplimiento de 5'S en máquinas.
- Estandarizar el cambio de molde.
- Implementar medidas para evitar extravíos de ventosas.
- Separar mangueras dañadas de mangueras OK.
- Realizar puentes en los moldes para reducir las mangueras usadas.
- Llenar correctamente el checklist de revisión para el inicio de producción.
- Revisión previa de los fines de brazo.
- Hacer saber a todo el personal que se está realizando cambio de molde para evitar distracciones.
- Clasificación de actividades (Preparación, montaje y desmontaje, corrida de prueba y ajustes).

Una vez que se seleccionaron las medidas de solución se tomarán acciones necesarias para implementarlas y revisar los resultados mensuales.

3.2.2. Hacer

Ejecutar las medidas de respuesta a los problemas. La primera medida que se realizó fue la separación de las operaciones externas e internas del proceso de cambio de molde y clasificación correspondiente y se identificaron oportunidades de mejor que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Operaciones internas, externas y mejoras (Elaboración propia)

DESCRIPCIÓN DE MÉTODO ACTUAL		TIEMPO		CATEGORÍA DE OPERACIÓN		PROPUESTA DE MEJORA
No.	Operaciones	Tiempo de elementos	Tiempo acumulado	Interna	Externa	
1	Revisar que molde B OK	0.6667	0.6667		0.6667	Anticipar el cambio de molde alstando toda la herramienta y material requerido para el cambio.
2	Ir por grúa	0.5833	1.2500		0.5833	
3	Llevar grúa a molde B	0.5	1.8		0.5	
4	Colocar cáncamo o sillaga	0.08	1.8333		0.08	
5	Enganchar molde B con grúa	0.12	1.9500		0.12	
6	Llevar molde B a Máquina 400 1HL	1.65	3.6000		1.65	El molde B debe estar en el área de trabajo de la máquina listo para cuando termine producción. (Avisar a mantenimiento con anticipación los moldes a usar para su preparación a tiempo.)
7	Desenganchar molde B	0.16666667	3.7667		0.16666667	
8	Acercar grúa a molde A	0.23333333	4.0000		0.23333333	
9	Registrar tiros molde A	1.34	5.3400		1.34	
39	Conexión de cable de coladacaliente y comunicación	0.58333333	26.7419		0.58333333	El fin de brazo previamente revisado Designar entre los participantes del cambio las actividades que realizará cada uno. Asegurarse de que la máquina cuente con su gancho para scrap Realizar puentes de molde previamente.
40	Abir molde	0.21666667	26.9586		0.21666667	
41	Colocar seguro de expulsores	0.31666667	27.2753		0.31666667	
42	Conectar mangueras de refrigeración	14.6	27.2753		14.6	
49	Ajustar altura de molde	0.2	43.3386		0.2	
50	Abir flomo (Corriente sistema de refrigeración)	0.1	43.4386		0.1	Retirar mangueras innecesarias o sobrantes de la máquina, revisar condición de las mangueras para evitar fugas y tener que buscar una manguera OK. Tener cerca mangueras de la máquina en caso de que sea necesario cambiar alguna. Asegurarse que las mangueras usadas no estén dañadas y que estén conectadas correctamente
57	Cerrar molde	0.11666667	53.3219		0.11666667	
58	Revisar robot	0.99	54.3119		0.99	
59	Primeros tiros OK (Inicio de producción)	54.3119	54.3119			
	Total	54.3119	54.3119	47.98193548	6.3300	

Como se observa en la tabla 4 se colocaron operaciones en las cuales había oportunidad de mejora en una primera instancia, se identifica la necesidad de las 5'S. Después de todos el análisis y de reuniones del equipo de SMED se una reunión para diseñar en base a las áreas de oportunidad las actividades que debe realizar cada tool setter para disminuir el tiempo de cambio del proceso de cambio de molde y tomando en cuenta la implementación de las 5'S que se muestran en la tabla 5.

Con las actividades definidas se:

- Eliminaron búsquedas de herramientas y materiales necesarios para el cambio.
- Minimizaron desplazamientos.
- Minimizaron tiempos de espera
- Se estandarizaron métodos
- Se mejora la disponibilidad de la máquina

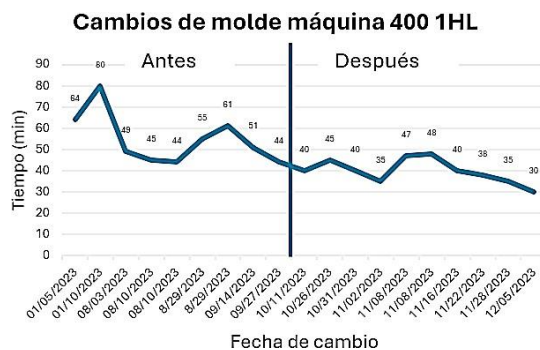
Tabla 5. Forma de trabajo para Tool setter (Elaboración propia)

CAMBIO DE MOLDE MÁQUINA 400 1HL	
Actividades antes del cambio	
Actividades Tool setter 1	Actividades Toolsetter 2
Revisar plan de producción molde B.	Revisar plan de producción molde B.
Revisar tiempo de producción molde A	Revisar tiempo de producción molde A
Revisar que el material este liberado, IDENT correcto de acuerdo a plan	Preparar el material y la herramienta para el cambio del molde
Pedir molde a mantenimiento con 20 minutos de anticipación	Preparar Blue Map y
Preparar molde B (Cáncamo, bujes)	Preparar etiquetas y material
Ir por grúa	Preparar purga y cubetas de material
Enganchar molde B con grúa	Colocar neopreno en área de trabajo de máquina 400 1HL
Llevar molde B a máquina 400 1HL	Delimitar el recorrido de la grúa con conos
	Desconectar línea de alimentación de material
Actividades durante el cambio	
Actividades Tool setter 1	Actividades Toolsetter 2
Apagar las calefacciones del molde.	Verificar que no haya piezas en la banda
Mandar robot a home position	Entregar el ultimo tiro de la producción a calidad
Apagar hot runner y purgar sistema de enfriamiento molde A	Bajar temperaturas de termoreguladores
Retirar cable HR, quitar seguro de barra de expulsores, colocar puente y	Desconectar mangueras
Abir platina móvil y retroceder cilindro de placa de expulsores	
Enganchar molde A y bajar de máquina 400 1HL	Retirar fin de brazo molde A y revisar que no falten ventosas
Enganchar molde B en y colocarlo en máquina	Vaciar en los contenedores designados el material sobrante de la tolva
Fijar molde B en platina fija	Realizar limpieza total de la tolva y colocar purgante en caso de ser
Colocar barra de expulsores	
Cerrar platina móvil y fijar	Conectar mangueras de sistema de enfriamiento
Desenganchar grúa, quitar puente, colocar cable de expulsores y hot	
Cargar programa*	Encender termoreguladores, verificar fugas y flomos
Colocar seguro en barra de botado	Colocar fin de brazo correspondiente al IDENT
Realizar limpieza de molde	Alimentar línea de material
Ajustar carrera de expulsores y altura de molde	Registro plan de mantenimiento molde B
Llevar molde B a área de moldes	Purgar cañón
	Arrancar producción
Actividades después del cambio	
Actividades Tool setter 1	Actividades Toolsetter 2
Revisar vigilancias	Inspeccionar pieza para detectar defectos
Confirmar el correcto funcionamiento de la máquina, monitorear	Entregar primer tiro OK a calidad
Registro en base de datos de OEE ultimo molde	Llena de documentos (plan de manto, checklist y hrxhr)
Blumap y registro en kromain	Colocar material retirado de tolva en octavin correspondiente

4 Resultados y Discusión

4.1. Verificar

Los resultados obtenidos después de la implementación del SMED en la máquina 400 1HL se realizó una comparación de los tiempos del cambio de molde del antes y el después. Se realizaron tomas de tiempo de los últimos cambios de molde. Considerando como objetivo 45 min por cambio con las mejoras implementadas.

**Fig. 5.** Gráfica de tiempos de cambio de molde (Elaboración propia)

En la figura 5 se observa que la implementación de las mejoras dio gran resultado en la disminución del tiempo en el cambio de molde, después de la implementación de las mejoras, de 10 cambios realizados solo en 3 no se logró el objetivo, cuando antes de la implementación de 9 mediciones solo en 2 se logró que fuera menor a 45 min.

Ahora se mostrará el comportamiento de la OEE (Overall Equipment Effectiveness) indicador clave que mide la eficiencia operativa del equipo antes y después de la implementación, el target propuesto es del 93% para este indicador, los resultados se pueden observar en la figura 6.

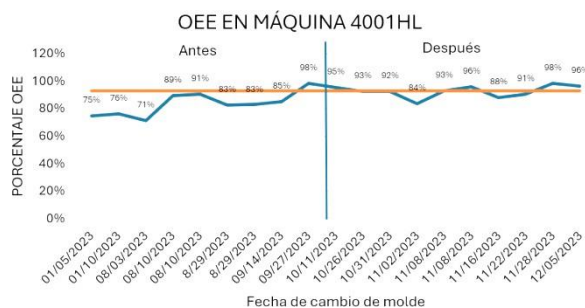


Fig. 6. Gráfica OEE de cambio de molde (Elaboración propia)

En la figura 6 se observa que el OEE se está estabilizando y es que antes de la implementación no se logra el objetivo del 93% y después de la implementación se logra el target en 6 de 10 cambios.

4.1. Actuar (Prevenir la recurrencia)

Una acción para asegurar el cumplimiento de las actividades es dedicar tiempo para revisar si las actividades se realizan de acuerdo lo planeado, generar motivación en las personas y dar apoyo en las dificultades que puedan presentarse.

Con los datos registrados de los cambios de molde es posible detectar que algunas operaciones se omitieron provocando tiempos muertos, al no preparar lo necesario para el cambio y al no organizar adecuadamente las actividades.

Para prevenir esto es necesario llevar a cabo una retroalimentación exponiendo los puntos de mejora y las acciones mencionadas. En la figura 7 se muestra los registros de cambio de molde para en los cuales se considera todas las mejoras en sus espacios de trabajo.

LISTA DE REVISIÓN PARA EL INICIO DE PRODUCCIÓN-PLANTA DE MOLDEO		MÁQUINA	
IDENT:	FECHA:	FECHA:	FECHA:
Preparación	FECHA: / / Nombre, nombre y firma	SI	NO
COD	El molde liberado para producción	☐	☐
MATERIAL	Materia prima liberada (BOM) correcta de acuerdo al FAW y en programa de secador y mezclador	☐	☐
	El material seco y prueba liberada (si aplica)	☐	☐
	Etiquetas de producción impresas (verificar sea cantidad OK de acuerdo a plan)	☐	☐
	Registro de número de lote de material	☐	☐
MOLDE	Molde está identificado con punto verde	☐	☐
Montaje de molde	FECHA: / / Nombre, nombre y firma	SI	NO
MÁQUINA	Marca correcta: Fecha, ZGS o AI, Q	☐	☐
	Verificar que no exista fuga de material entre boquilla y bebedero	☐	☐
	Verificar que en las bandas y periferia de máquina no existan piezas de otro número de parte	☐	☐
EXTRACCIÓN	Fin de brazo correcto, mesa y placa de verificación montados	☐	☐
OPERACIÓN	Hacer inspección de acuerdo a la A.V. 2311 Verificación fines de brazo máquinas automatizadas	☐	☐
MOLDE	Conexión de cable de seguridad de espulsores	☐	☐
	Inspección de conexiones, mangueras y conexión correcta de refrigeración	☐	☐
	Verificar la limpieza del molde / Registro en el formato 54.11.03.01	☐	☐
Puesta en marcha	FECHA: / / Nombre, nombre y firma	SI	NO
MOLDE	El programa seleccionado corresponde al ident	☐	☐
	Piezas de rechazo programadas y los 3 primeros trozos marcados sean enviados al scrap	☐	☐
	Parámetros clave:	☐	☐
	Temperatura de Cilindro:	☐	☐
	Temperatura de canal caliente:	☐	☐
	Tiempo de arranque:	☐	☐
	Caja de mesa real:	☐	☐
	Temperatura de enfriamiento:	☐	☐
	Vigilancias activadas	☐	☐
	Valores de salida (Tiempo de Dosisación, Tiempo de Inyección y Caja) se encuentra dentro de vigilancias	☐	☐
	Vigilancias de proceso en máquina (límite inferior y límite superior) (Tiempo de Inyección, Caja de material, tiempo de dosisación y tiempo ciclo) se encuentran conforme a la hoja de parámetros	☐	☐
	Reseteo de contador	☐	☐
	Operador capacitado	☐	☐
	Cantidad programada correcta	☐	☐
	Cantidad de lote de coque programado y activado	☐	☐
	Primer pieza producida aptada para enviar a calidad y liberada	☐	☐
	Se encuentran las AV's para identificación de partes colocadas en máquina	☐	☐

Fig. 7. Formato de seguimiento a cambio de molde (Elaboración propia)

Se observa que, en el formato, los involucrados en el cambio de molde principalmente son los departamentos de producción, mantenimiento y control de calidad da seguimiento a los cambios y registros de mejora.

Se debe considerar que el proceso de SMED es de mejora continua, esto quiere decir que se puede ir mejorando constantemente, por tal motivo, el seguimiento y los objetivos de mejora debe de ser estrictos una vez se adopte la mejora.

Al revisar los resultados obtenidos es posible observar una mejora con respecto a los tiempos anteriores a la implementación del SMED, se superó el objetivo con la reducción en el tiempo de cambio en un 37%, y una reducción del 20% en el OEE en la disponibilidad de máquina, obteniendo mayor rendimiento y una mayor capacidad de producción.

Es importante mencionar que todos los procesos son susceptibles a mejora, por lo que el seguimiento puntual de los equipos en el cambio de molde se seguirá asegurando mejoras al proceso de manera continua. Además, se logró la consolidación de los equipos de trabajo para la mejora de cambio de molde llamado SMED TEAM que la empresa ha adoptado para la eficiencia en la producción de partes plásticas en el proceso de inyección. Cabe mencionar, que esta implementación del SMED en la máquina de inyección 400 1HL sirvió como ejemplo y se ha replicado en otros equipos con buenos resultados. Además, se logró la consolidación de los equipos de trabajo para la mejora de cambio de molde llamado SMED TEAM que la empresa ha adoptado para la eficiencia en la producción de partes plásticas en el proceso de inyección. La implementación de la herramienta SMED es una adaptación de las necesidades de la empresa, debido a que diferentes autores utilizan otras herramientas de apoyo diferentes a las utilizadas en esta investigación.

Referencias

- Bolaños, S. J., Campos, Carolina, B., & Ramírez, M. J. (2019). Aplicación de Lean Manufacturing en la Industria Automotriz. Programa de Ingeniería Industrial, 21.
- Calad, C. N., & Hincapié, V. S. (2014). Desarrollo de un Plan para la Aplicación de un SMED en el Área de Sellado de una Empresa Flexográfica. <https://repository.eia.edu.co/server/api/core/bitstreams/186ee-afc-7f8b-45d9-9a64-d2af438d1337/content>
- Davalos, R., Luna, E. M., Valderrama, M., & Rivera, R. (2023). Single Minute Exchange of Die (SMED) to improve productivity in the industrial sector. A systematic review of the literature from 2012 to 2022. International Multi-Conference for Engineering Education, and Technology, 7.
- Hualla, Rody, P., & Cárdenas, A. C. (2017). Mejora de Procesos en las Áreas de Mezclado y Molienda de una Empresa Manufacturera de Tubosistemas PVC y PEAD Aplicando Herramientas de Calidad

- y Lean Manufacturing. San Migue, Ann Arbor, United States.
- Industrial, C. (15 de noviembre de 2023). Plataforma líder en información de la industria de movilidad. Cluster Industrial: <https://www.clusterindustrial.com.mx/noticia/6989/guanajuato-es-lider-nacional-en-produccion-de-autos-podria-llegar-a-780-mil-en-2023>
- ISO 9001-2015, I. M. (s.f.). NMX-CC-9001-IMNC-2015. México.
- Dávila, C. M. (2012). Propuesta de Metodología de Integración Lean Manufacturing. Monterrey, N.L.
- Espin, C. F. (2013). Técnica Smed. Reducción del Tiempo de Preparación. 3Ciencias, 1-10.
- Gutiérrez, R., & De la Vara, R. (2013). Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma. Mc Graw Hill.
- González, E., Esparza, B., Elena, L., Cano Carrasco, A. Muñoz, V., & Alejandra. (2017). SMED: Reducción de tiempos de cambio en línea de producción de maíz en el área de empaque. Administración y Finanzas, 4(12), 16-29. https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Administracion_y_Finanzas/vol4num12/Revista_de%20Administraci%C3%B3n_y_Finanzas_V4_N12_2.pdf
- Gutiérrez Pulido, H. (2010). Calidad total y productividad. México: Mc Graw Hill.
- Hernández, M., & Vizán, I. (2013). Lean Manufacturing, conceptos, técnicas e implementación. Fundación EOI.
- Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2008). Administración de las Operaciones Procesos y Cadena de Valor. México: Pearson.
- Madariaga, F. (2021). Lean Manufacturing. Creative Commons.
- Medina, D. A. (2021). Aplicación de la Herramienta SMED. Arequipa: Universidad Tecnológica de Perú.
- Melquiades, V. J., Luevano Fernández, L., Valentín, M., Erik, & Rosales, B. (2019). Aplicación de metodología SMED a proceso de rectificado interior de buje de carbón mecánico. Raaxion, 7(1). http://reaxion.utleon.edu.mx/Art_Aplicacion_de_metodologia_SMED_a_proceso_de_rectificado_interior_de_buje_de_carbon_mecanico.html
- Muñoz Guevara, J., Zapata Urquijo, P., Varela, M., & Pedro. (2022). Lean Manufacturing Modelos y herramientas. Pererira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Nievel, B. W., & Freivalds, A. (2009). Ingeniería Industrial Métodos, estándares y diseño del trabajo. México: Mc Graw Hill.
- Padilla, J., Rincón, Ó., Palacio, J., Fierro, O., Ruiz, M., & Torres, J. (2016). Diseño de un Modelo Lean Manufacturing con Aplicación de las Herramientas VSM, Kanban, SMED y 5'S para la empresa de Autopartes y Cauchos. Revista Ingeniería Solidaria, 22.
- Restrepo, C. J., Medina V., P. D., & Cruz T., E. A. (2009). Como Reducir el Tiempo de Preparación. Scientia Et Technica, XV(41), 177-180.
- Shingeo, S. (1993). Una revolución en la producción: el sistema SMED. Productivity.
- Socconini, L. (2017). Lean Manufacturing Paso a Paso. México: Servicio Editoriales /Jrdb.
- Tornos, I., Giralt, E., Serigó, X., Magarolas, S., & Ingrande, T. (2012). Implantando Lean. España: Lean Auren.
- Villaseñor, A., & Galindo, E. (2007). Manual Lean Manufacturing, Guía Básica. México: Limusa.

Recibido: 13 de agosto de 2024

Aceptado: 15 de noviembre de 2024

Romo, María: M.A. en Administración e Ingeniero Industrial de profesión, Docente de Tiempo Completo de la carrera de Sistemas Automotrices, trabajos en proyectos vinculados a empresas del sector automotriz, y con experiencia profesional en la Industria Automotriz

 <https://orcid.org/0009-0009-2062-8704>

Ayala, Dolores: M.I.A.C. en Ingeniería Administrativa y Calidad e Ingeniería Informática de profesión, Docente de tiempo completo de la carrera de Ingeniería Informática, he desarrollado proyectos relacionados con la ingeniería de software y calidad en industrias públicas y privadas. Correo electrónico: dolores.am@purisima.tecnm.mx

 <https://orcid.org/0009-0006-1948-116X>

Rosales, Miguel: M.A. Maestría en Administración e Ingeniero Industrial de profesión, Profesor de Tiempo Completo de la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial. Experiencia profesional en empresas del sector metal mecánico y automotriz; y desarrollo de proyectos en colaboración con el sector industrial y de servicios. Correo electrónico: mi-quel.rr@purisima.tecnm.mx

 <https://orcid.org/0000-0003-0004-7362>