

Artículo de investigación

Cómo citar: F. Acosta, J. Arboleda y H. Romero, "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*, vol. 18. n.º 35, pp. 14-28, julio - diciembre 2023 doi: 10.26620/uniminuto.inventum.18.35.2023.14-28

Editorial: Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO.

ISSN: 1909-2520
eISSN: 2590-8219

Fecha de recibido: 01 de junio de 2023
Fecha de aprobado: 01 de julio de 2023
Fecha de publicación: 15 de julio de 2023

Conflicto de intereses: los autores han declarado que no existen intereses en competencia.

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 SMED¹

Proposal for the reduction of setup times in the EVA injection process in a company in the footwear sector through the implementation of the SMED methodology

Proposta para reduzir os tempos de alistamento no processo de injeção de EVA na empresa do setor calçadeiro através da implementação da metodologia SMED

Resumen:

El presente artículo tiene como objetivo presentar una propuesta para la disminución de los tiempos de alistamiento en la máquina No. 4 del área de inyección por moldeo en una empresa del sector del calzado, utilizando la metodología SMED, una herramienta fundamental del *lean manufacturing*. La aplicación básica de la metodología SMED, en este caso de estudio, se lleva a cabo a través de cuatro etapas: i) la realización de un estudio de métodos y tiempos para la estandarización del proceso de alistamiento de la máquina, ii) la elaboración del *layout* para la nueva distribución del área, iii) la definición de los pasos para aplicar la metodología SMED y, finalmente, iv) la utilización de la simulación discreta para la valoración del impacto en los tiempos de alistamiento. Después de realizar las etapas anteriores para la implementación de la propuesta en la empresa, se logra disminuir el tiempo de alistamiento en 51,53 % y se incrementa la capacidad efectiva diaria de producción en 9,5 %.

Palabras clave: metodología SMED, *lean manufacturing*, inyección por moldeo, reducción, estudio de tiempos

F. C. Acosta

Universidad Pontificia Bolivariana (Palmira, Colombia)
email: farid.acosta@upb.edu.co
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5521-9913>

J. Arboleda

Universidad Pontificia Bolivariana (Palmira, Colombia)
Universidad Santiago de Cali (Cali, Colombia)
email: jairo.arboleda@upb.edu.co
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4045-9396>

H. F. Romero

Universidad Pontificia Bolivariana (Palmira, Colombia)
email: hector.fabian.romero@hotmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5864-3979>



¹ Producto derivado del proyecto de investigación "Implementación de la metodología SMED en el área de inyección de plástico en una empresa fabricante de calzado", apoyado por la Universidad Pontificia Bolivariana través del semillero de investigación en productividad y operaciones (SIPROC) y el SIEIAM de la Universidad Santiago de Cali.

Abstract:

This article aims to present a proposal for the reduction of enlistment times in machine No. 4 of the injection molding area of a company in the footwear sector, using the SMED methodology, a fundamental tool of Lean Manufacturing. The basic application of the SMED methodology in this case study is carried out through four stages: i) the realization of a study of methods and times for the standardization of the enlistment process of machine, ii) the elaboration of the layout for the new distribution of the area, iii) the definition of the steps to apply the SMED methodology, and finally, iv) the use of discrete simulation for the assessment of the impact on enlistment times. Obviously, after carrying out the previous stages for the implementation of the proposal in the company, it is possible to reduce the enlistment time by 51,53 % and the daily effective production capacity is increased by 9,5 %.

Keywords: SMED methodology, lean manufacturing, injection by molding, reduction, times study

Resumo:

O objetivo deste artigo é apresentar uma proposta de redução do tempo de alistamento na máquina No. 4 da área de moldagem por injeção em uma empresa do setor calçadista, utilizando a metodologia SMED, ferramenta fundamental do Lean Manufacturing. A aplicação básica da metodologia SMED neste estudo de caso é realizada através de quatro etapas: i) a realização de um estudo de métodos e tempos para a padronização do processo de alistamento de máquinas, ii) a elaboração do layout para a nova distribuição da área, iii) a definição das etapas para aplicação da metodologia SMED e, finalmente, iv) o uso de simulação discreta para a avaliação do impacto nos tempos de alistamento. Obviamente, após a realização das etapas anteriores para a implementação da proposta na empresa, é possível reduzir o tempo de alistamento em 51,53 % e a capacidade efetiva diária de produção é aumentada em 9,5 %.

Palavras-chave: metodologia SMED, lean manufacturing, moldagem por injeção, redução, estudo de tempo

I. INTRODUCCIÓN

“El escenario actual de las empresas manufactureras en el mundo es de una alta competitividad; hoy día, se deben tener productos de alta calidad a costos competitivos, de allí la importancia de presentar trabajos” de investigación que busquen generar en las empresas eficiencia, productividad y ahorro de costos [1, p. 11].

“Los procesos de fabricación están marcados por dos particularidades: a) la fabricación de productos por lotes pequeños que son demandados por los clientes, para evitar los stocks que representan una fuente de despilfarro; y b) los lotes de fabricación de productos variados para satisfacer el consumo de los clientes, que solicitan productos específicos de mayor valor añadido. Por lo tanto, para cumplir con ambas características, las fábricas que compiten en el mercado internacional operan con mayor flexibilidad, para realizar la fabricación de una variedad de lotes específicos, en el corto tiempo” [2, p. 13].

“*Lean manufacturing* (en castellano “producción esbelta”) es un método que tiene como objetivo la eliminación del despilfarro o desperdicios entendiéndose estos como todas aquellas actividades que no aportan valor al producto y por las cuales el cliente no está dispuesto a pagar, mediante la utilización de una colección de herramientas (TPM, 5´S, SMED, Kanban, Kaizen, heijunka y jidoka.) que se desarrollaron principalmente en Japón para la producción de automóviles” [3, p. 1]. Algunos autores afirman que las empresas de manufactura desperdician alrededor de 70 % de sus recursos [4]; otros reclaman que para muchas organizaciones menos del 10 % de las actividades agregan valor a sus productos y casi un 60 % no agregan ningún valor [5].

En la manufactura, hay tres conceptos muy importantes a considerar: la eficiencia, la eficacia y el valor. La eficiencia es el empleo óptimo de todos los recursos de una empresa u organización, tales como: tiempo, financiero, humano para obtener un propósito estable [6]. Al mismo tiempo, otra definición para este concepto es la definición de la meta de un proceso eficiente, esta es producir un bien o prestar un servicio utilizando la menor cantidad posible de insumos. La eficacia se realiza cuando se obtienen las metas dadas en un tiempo menor, con esto quiere decir que se estima básicamente los resultados y no el procedimiento del cómo se logró dicho objetivo, así mismo, implica hacer lo correcto a efecto de crear el valor máximo posible para la compañía [7].

La planta y el equipo en una empresa manufacturera desempeñan un papel fundamental en un programa de mejoramiento de la productividad, mediante un buen mantenimiento y adecuamiento, el aumento de la capacidad, la adopción de medidas correctivas, la reducción del tiempo ocioso y el incremento del uso eficaz de las locaciones disponibles. Con el uso de tecnologías en los procesos es posible generar un incremento en el volumen de bienes y servicios [7]

El problema

La empresa objeto de estudio dispone de un área para el proceso de inyección, la cual está destinada a la línea de dotación industrial para el consumo del mercado nacional y de exportación; en esta área se ha venido presentando disminución de la eficiencia generada por los altos tiempos de cambio y alistamiento de los moldes en la máquina No. 4, lo que genera atrasos en la producción, incumplimiento a los clientes y costos altos de producción. Por lo tanto, el objetivo general de esta investigación es elaborar una propuesta para la implementación de la metodología SMED que permita la disminución de los tiempos de alistamiento en la máquina No. 4 del área de inyección de la empresa en estudio.

Antecedentes

Encapsulada dentro del enfoque *lean manufacturing*, la metodología SMED se constituye en una herramienta para la mejora continua, que de forma metodológica busca reducir el tiempo de cambio de las diversas referencias de productos en las máquinas de entornos productivos.

“SMED es el acrónimo en lengua inglesa de *Single Minute Exchange of Die*, que en español significa “cambio de matriz en menos de 10 minutos”. La metodología SMED nació de la necesidad de reducir el tamaño de los lotes que pasaban por las prensas de estampación, optimizando para ello el tiempo de cambio empleado en pasar de una matriz a otra. Hoy en día, el SMED se aplica a las preparaciones de toda clase de máquinas” [1, pp. 20-21].

“El padre de la metodología SMED, el ingeniero japonés Shigeo Shingo de la compañía automotriz Toyota, ideó y desarrolló una serie de etapas para reducir los tiempos de cambio de producto al evidenciar tiempos superiores a 4 horas en la línea de estampado. Aunque en la definición de SMED se menciona una reducción de tiempos de

cambio de producto o puesta a punto a tiempos menores de 10 minutos, esto no siempre se logra” [8, párr. 7], debido algunas veces a la programación o coordinación inapropiada en el procedimiento de alistamiento para el cambio de las diferentes referencias. “Sin embargo, a la fecha un tiempo de cambio de troqueles menor a 100 segundos, o de un toque o paso, es considerado un ‘changeover’ de clase mundial” [8, párr. 7].

Algunos conceptos esenciales para el método SMED son los siguientes:

- Tiempo de cambio: este tiempo transcurre mientras se llevan a cabo la serie de actividades de alistamiento necesarias para el cambio de producto, donde el proceso productivo se encuentra detenido; por ello, constituye una muda (desperdicio o despilfarro), que no agrega valor al producto para el cliente.
- Actividades internas: son operaciones correspondientes al cambio de producto que sólo pueden realizarse con máquina apagada.
- Actividades externas: son operaciones correspondientes al cambio de producto que pueden realizarse con la máquina encendida o en operación [8, párrs. 3-5], [9].

La reducción del tiempo de cambio de producto deriva en dos beneficios principales:

- Reducir el material en proceso como lo dicta Lean Manufacturing, incrementando la frecuencia de cambio de las referencias y reduciéndose el tamaño de los lotes.
- Incrementar el OEE (Overall Equipment Effectiveness) y la productividad al reducir tiempos muertos, incrementando la flexibilidad del sistema productivo y permitiendo trabajar en lotes más pequeños [8, párr. 6].

La ejecución del método SMED se lleva a cabo en tres etapas:

1. Etapa preliminar: “esta fase está caracterizada por la mezcla de las operaciones internas y externas, como resultado de esto, las máquinas presentan paradas muy largas entre cambios de lote. En esta fase Shingo sugiere realizar un análisis de la realidad del proceso, para eso recomienda realizar una de estas cuatro técnicas: un estudio de tiempos, un muestreo, entrevista a los trabajadores, o un registro

fílmico del proceso, el autor se inclina más por este último, ya que permite en la reproducción el video en conjunto con los operarios para que ellos expresen sus opiniones e ideas que pudieran ser puestas en marcha de forma inmediata” [1, p. 22].

2. Etapa 1. Separación de la configuración interna y externa: el paso más importante en la realización del sistema SMED es la diferenciación entre la preparación interna y la externa. Muchos autores están de acuerdo con que la preparación de piezas, el mantenimiento de los dados, herramientas y ciertas operaciones, no se deben hacer mientras la máquina está parada; sin embargo, esto ocurre con frecuencia [10].
3. Etapa 2. Convertir el conjunto interno para la configuración externa: la reducción de tiempo de la configuración interna promovida por la etapa 1 aún no es suficiente para lograr el objetivo de tiempo propuesto por SMED. Aún es necesario revisar las operaciones para ver si alguna operación se ha asignado incorrectamente y hacer un esfuerzo para convertir estas actividades en una configuración externa. Aquí surgen dos conceptos importantes: i) reevaluar las operaciones, para ver si algunos pasos están erróneamente considerados como internos, y ii) buscar formas para convertir esos pasos internos en externos [10].
4. Etapa 3. Mejoramiento sistemático de cada operación básica de la configuración interna y externa: el nombre elegido por Shingo para nombrar esta etapa se denomina “simplificar todos los aspectos de la operación de configuración”. En el contexto de la metodología, la palabra racionalización no es la más adecuada, ya que puede inducir a considerar esta fase como métodos o procedimientos ya establecidos, y en realidad lo que se pretende es el mejoramiento continuo del proceso de alistamiento [6].

En las actuales condiciones de competencia de las empresas de manufactura, se hace “indispensable poder producir y entregar los productos con *lead times* cortos, ofrecer una amplia gama de opciones de producto para generar diferenciación frente a la competencia, y mantener niveles mínimos de inventario. En otras palabras, una implementación efectiva de la metodología SMED aportaría un importante factor de flexibilidad para producir JIT (justo a tiempo), reflejando la respuesta oportuna a la demanda del cliente y reduciendo desperdicio en forma de esperas e inventario” [8, párr. 15].

En términos generales, la importancia del presente estudio radica en lograr un enfoque integral de las diferentes áreas funcionales de las operaciones manufactureras, como son: el control de calidad, la administración del mantenimiento, la organización del trabajo y la planeación de la producción. En términos específicos, es importante resaltar la aplicación de herramientas del *lean manufacturing* que permiten disponer de propuestas de solución a la problemática de los altos tiempos de preparación y alistamiento en los procesos industriales, permitiendo el incremento en la capacidad efectiva y la disminución en los costos de producción.

II. DESARROLLO METODOLÓGICO

Diagnóstico inicial

La empresa en estudio se dedica a la fabricación y comercialización de calzado a partir de polímeros como el EVA (Etil vinil acetato) y PVC (Cloruro de polivinilo), para lo cual tiene varias áreas de producción donde se usan diferentes máquinas para variados tipos de calzado; cuenta con un gran portafolio de referencias, entre los elementos más relevantes del proceso de inyección EVA está la materia prima, fundamental para controlar una variable crítica en el producto: la talla y el color.

En el proceso de inyección de la empresa se cuenta con los siguientes productos:

- Zapato de dotación.
- Suela.
- Capellada para chancla.
- Chancla.
- Sueco.

Por lo anterior, la combinación de modelo, talla y color genera un universo importante de producto para ofertar en el mercado, y al tener asociado moldes por referencias y talla hace cada vez más relevante e imperioso el reducir los tiempos de ineficiencia en los cambios y arranques de máquina.

Para la propuesta de implementación se selecciona el calzado de dotación, que tiene una alta participación en la venta de la compañía y presenta muchas referencias por la gran cantidad de combinaciones de tallas y colores.

El estudio descriptivo llevado a cabo se realiza con base en investigaciones correlacionales, las cuales a su vez proporcionan información para llevar a cabo estudios

explicativos [9]. Específicamente, para desarrollar el presente proyecto, primero se realiza un diagnóstico del proceso de producción para determinar el factor crítico en las actividades del proceso, al respecto, es importante reconocer que el objetivo de la administración científica es aumentar la productividad, optimizando el trabajo, particularmente, las tareas de los operarios [6]

A. Flujo de proceso para la fabricación de calzado

La figura 1 describe el proceso de fabricación de calzado con las diferentes etapas requeridas, las cuales incluyen inyección, ensamble, control de calidad y almacenamiento.

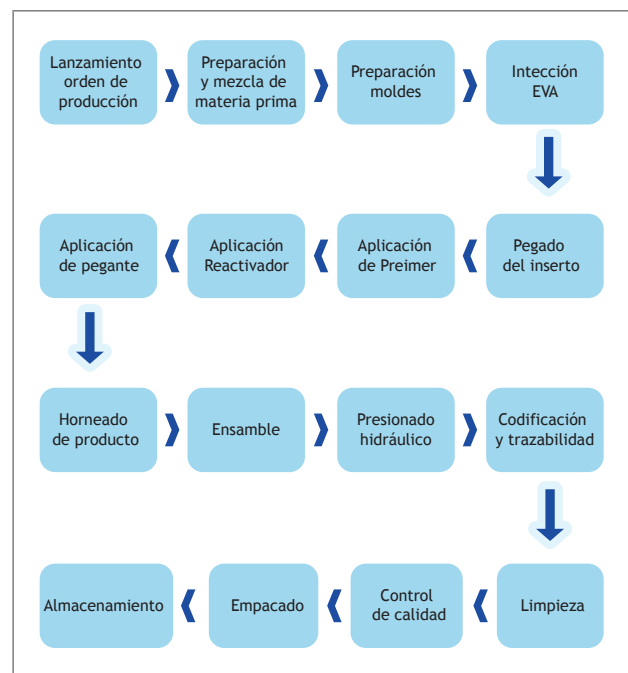


Figura 1. Diagrama de bloques del proceso.

Fuente: elaboración propia.

En el proceso de inyección EVA, se tiene identificado el bloque de preparación de moldes, el cual está relacionado con todas las fases de disposición, revisión, alistamiento, montaje y desmontaje de moldes en la máquina, para cubrir las necesidades según las ordenes de producción.

B. Tiempos muertos

En la figura 2 se consolida la información del indicador OEE en el proceso de inyección EVA para identificar el peso que tiene el factor disponibilidad, que está ligado con los tiempos muertos en la máquina por los ajustes de materia prima, revisión de moldes, desmontaje y

montaje de moldes, más la preparación y arranque de máquina; puesto que hay que poner a punto el material y las condiciones de proceso que están definidas por la temperatura, el tiempo de inyección, la carga de material y la mezcla de materia prima.

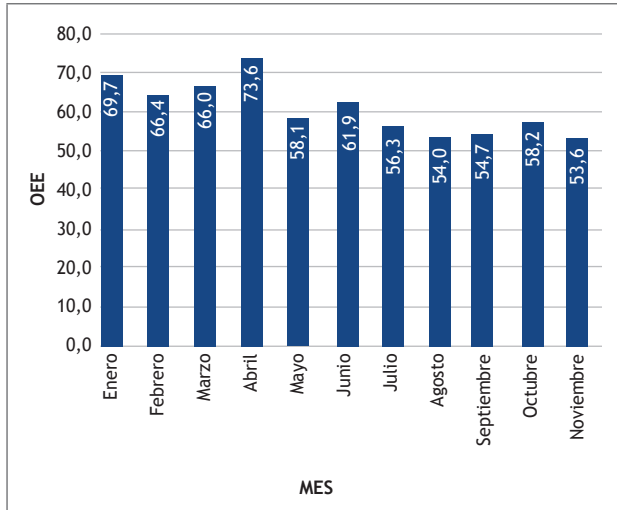


Figura 2. Indicador OEE mensual en el año 2022 para inyección.

Fuente: elaboración propia.

En la máquina No. 4, donde se trabajan los productos de dotación, se tienen diferentes moldes, ya que cada talla requiere una especificación necesaria, o incluso, la constitución de los moldes puede ser de un solo par o estar diseñado de forma doble. Esto es importante para determinar los pesos de los moldes y a su vez los esfuerzos que deben realizar los operarios a la hora de su manipulación.

En esta máquina trabajan 3 operarios por turno, se tienen 3 turnos rotativos y, debido a la intensidad horaria, cada operario debe estar disponible para realizar las actividades de acondicionamiento, alistamiento, operación e inspección de calidad.

- Acondicionamiento: revisar el estado de la máquina cada vez que reciben el turno, iniciar sistemas y comprobar que todo esté correcto, de lo contrario se debe comunicar al líder de producción para solicitar revisión a mantenimiento.
- Alistamiento: el operario encargado de cada estación debe realizar el respectivo alistamiento, que incluye el cambio de moldes y la puesta a punto de la máquina; cada operario recibe la capacitación para realizar esta actividad y es en la cual se centra la propuesta de mejora.

- Operación: después de tener todo listo, el operario inicia la inyección, esta se controla mediante un tablero electrónico que el operario manipula para ajustar parámetros como cantidad de material, temperatura de inyección, tiempo de cocción, entre otros.
- Inspección de calidad: después de la inyección, cada operario debe revisar el producto para comprobar que no haya irregularidades, como material quemado, formas irregulares, material fracturado u otros detalles que puedan afectar la apariencia del producto final.

Enfoque de procesos: Muchos modelos de simulación incluyen secuencias de elementos que ocurren en patrones definidos a lo largo del tiempo; por ejemplo, una cola donde las entidades esperan para ser procesadas por el servidor. La lógica asociada con tal secuencia de eventos puede ser generalizada y definida por una única declaración, luego un lenguaje de simulación puede traducir tales declaraciones en una secuencia de eventos apropiada, y un lenguaje enfocado a los procesos emplea estas declaraciones para modelar el flujo de entidades a través del sistema. [15, p. 39]

C. Plan SMED

Después de conocer cómo se desarrollan las actividades de la máquina, se realiza la planeación del procedimiento para la toma de datos:

1. Se procedió a realizar recorridos en diferentes momentos del proceso productivo para entender cómo trabaja la máquina; se realizan observaciones en la máquina para el análisis de las actividades.
2. Se realizan reuniones con los integrantes del equipo de trabajo de la máquina No. 4: el director de operaciones, el líder de producción y el operario líder del área, para concretar el diagnóstico y análisis de forma contextualizada.
3. Se reconocen las diferentes condiciones de trabajo a las cuales están sometidos los operarios, con el fin de analizar las diferentes oportunidades de mejora. [11, p.47]

A lo largo del análisis se encontraron diferentes desperdicios que afectan el desempeño del proceso, las cuales son presentadas en la tabla 1:

Análisis de Desperdicios Encontrados	Porcentaje
Exceso de tiempo en transporte de moldes	6%
Repetición en las comprobaciones de los ajustes	7%
Daños en las piezas de la máquina	30%
Demoras en la búsqueda de herramientas	26%
Pérdidas de tiempo en la búsqueda de materia prima y equipos	9%
Esfuerzos innecesarios en el trabajo	23%
Total	100%

Tabla 1. Porcentaje de desperdicios encontrados.

Fuente: elaboración propia.

Todos estos desperdicios se traducen en tiempo perdido y en reducción de la eficiencia en el proceso, también es muy probable que en todo proceso se presenten imprevistos, para lo cual se deben plantear acciones que reduzcan el impacto de estos en la producción. La tabla 1 muestra que los daños en las piezas de la máquina son los que más impacto tienen en el tiempo, seguidos por la búsqueda de herramientas, las cuales deberían siempre estar a la mano del operario para mayor comodidad y aprovechamiento del tiempo [12].

Revisión del método actual

Se realiza un análisis enfocado en el cambio actual de los moldes que realizan los operarios en la máquina No. 4 para la producción de zapato de dotación, puesto que se busca ejecutar un análisis en las condiciones más normales posibles. Asimismo, se llevan a cabo varias observaciones indirectas, buscando no tener impacto en el proceso. Después de tener la claridad necesaria acerca de las actividades, se continúa con la metodología de la herramienta SMED en la etapa preliminar, donde las actividades internas y externas no se distinguen. Se programa con el líder de la unidad operativa una observación directa de la actividad. Como lo sugiere la metodología, se contó con cámara de video, cronómetro y grabadora de audio para poder revisar el detalle del proceso que realiza el operario y las descripciones de las actividades que lleva a cabo. El operario fue informado sobre el objetivo del análisis, pero se procuró no generar interferencias ni interrupciones para permitir un desarrollo normal de la observación.

La instrucción de la herramienta SMED recomienda que se detallen cada una de las actividades desde dos puntos: el inicio del cambio de moldes de la referencia A hasta el primer producto considerado bueno de la referencia B. Las actividades realizadas se encuentran detalladas en la tabla 2:

No.	Actividad
1	Inicio Alistamiento
2	Enfriamiento de la cabina
3	Limpieza de moldes Ref. A
4	Búsqueda de herramientas
5	Desajuste de ejes
6	Desajuste y retiro de dados
7	Traslado de carro elevador
8	Retiro moldes Ref. A
9	Traslado moldes hasta almacenamiento
10	Revisión orden producción para Ref. B
11	Búsqueda de moldes Ref. B
12	Ubicación moldes Ref. B en la cabina
13	Encaje de moldes en la cabina
14	Ajuste ejes de fijación
15	Comprobación ajuste en cabina
16	Ajuste dados
17	Purgado de moldes (Operario máquina)
18	Montaje de moldes
19	Comprobación de moldes
20	Tiempo calentamiento
21	Procesamiento EVA
22	Retiro producto
23	Inspección calidad

Tabla 2. Listado general de actividades de alistamiento.

Fuente: elaboración propia.

Es importante aclarar que el tiempo de calentamiento es una actividad necesaria dentro del proceso y es un tiempo determinado de 4 minutos, ya que en un proceso de inyección debe existir un tiempo de reposo o espera hasta que los moldes regresen a una temperatura regular para evitar lesiones en los operarios que los manipulan. Al terminar cada proceso de inyección EVA, se realiza una limpieza del molde con aire comprimido y un soplete que contiene una mezcla específica para la limpieza de estos.

Se realizan 2 tomas de tiempo piloto y 1 toma regular de tiempos con la filmadora para poder realizar un contraste y detallar diferentes situaciones que se pueden presentar, para el caso de la observación que fue filmada. Puesto que se pueden presentar algunos imprevistos, lo cual es importante para definir cuáles pueden ser las fallas del proceso y en ese sentido se plantear las soluciones más efectivas. Las tomas de tiempo son expresadas en la tabla 3:



No.	Descripción Actividad	Observaciones			
		Toma #1	Toma #2	Toma #3	T.E
0	Inicio aislamiento	0	0	0	0
1	Apertura cabina	3	3	3	3
2	Enfriamiento de la cabina	60	60	60	60
3	Limpieza de moldes Ref. A	15	15	15	15
4	Búsqueda de herramienta	25	25	20	23
5	Desajuste de tornillos inferiores (4)	40	40	45	42
6	Desajuste de tornillos superiores (4)	45	45	45	45
7	Desajuste y retiro de dado izquierdo	37	37	30	35
8	Desajuste y retiro de dado derecho	95	95	29	73
9	Apertura cabina	8	8	8	8
10	Traslado del carro con plataforma elevada	60	60	50	57
11	Levantamiento de plataforma a la altura de los moldes	29	29	25	28
12	Retiro moldes Ref. A	34	34	30	33
13	Traslado moldes Ref. A hasta estanterías	72	72	75	73
14	Levantamiento de plataforma a la altura de los moldes	7	7	15	10
15	Ubicación de moldes en estanterías	34	34	36	35
16	Revisión orden producción para Ref. B	10	10	10	10
17	Búsqueda de moldes Ref. B	375	250	180	268
18	Levantamiento de plataforma a la altura de los moldes	11	11	11	11
19	Retiro molde 1 Ref. B	36	36	36	36
20	Traslado molde 1 Ref. B hasta ubicación molde 2 Ref. B	36	36	36	36
21	Levantamiento de plataforma a la altura de los moldes	15	15	15	15
22	Retiro molde 2 Ref. B	44	44	44	44
23	Traslado moldes Ref. B	38	38	36	37
24	Levantamiento de plataforma a la altura de los moldes	25	25	23	24
25	Ubicación moldes Ref. B en la cabina	26	26	20	24
26	Retiro del carro con plataforma elevada	9	9	5	8
27	Encaje de moldes en la cabina	82	82	80	81
28	Ajuste ejes de fijación	51	51	45	49
29	Ajuste ejes de fijación	44	44	44	44
30	Ajuste ejes de fijación traseros	120	120	100	113
31	Comprobación ajuste en cabina	13	13	20	15
32	Ajuste eje de fijación superior	15	15	15	15
33	Ajuste de tornillos superiores traseros	65	65	45	58
34	Ajuste de tornillos superiores traseros	102	102	85	96
35	TIEMPO MUERTO	0	0	0	0
36	Ajuste ejes superiores	134	134	100	123
37	Ajuste ejes inferiores	113	113	123	116
38	Cierre de la cabina	8	8	8	8
39	Búsqueda herramienta	25	25	20	23
40	Ajuste dado izquierdo	44	44	35	41
41	Ajuste dado derecho	33	33	33	33
42	Revisión funcionamiento de la cabina con los moldes	20	20	15	18
43	Búsqueda herramienta	25	25	20	23
44	Purgado de moldes (Operario máquina)	210	210	150	190
45	Retiro de moldes	120	120	102	114
46	Traslado al área de mantenimiento	15	15	15	15
47	Purgado de moldes (Encargado Mantenimiento)	144	144	100	129
48	Traslado moldes hasta la máquina	53	53	53	53
49	Montaje de moldes	180	180	180	180
50	Comprobación de moldes	20	20	20	20
51	Tiempo calentamiento	1200	1200	1200	1200

Tabla 3. Registro de los tiempos de alistamiento.
 Fuente: elaboración propia.

La sumatoria de los tiempos descritos, permiten establecer los tiempos de duración de cada uno de los 3 procesos de alistamiento observados.

Toma #1	Toma # 2	Toma # 3	Promedio
1:07:05	1:05:00	0:58:30	1:03:20

Tabla 4. Resumen de los tiempos de alistamiento.

Fuente: elaboración propia.

Como se puede evidenciar en la consolidación de la tabla 4, el tiempo promedio de duración del proceso de alistamiento es de 1:03:32 horas, un tiempo que corresponde aproximadamente al 5 % del tiempo disponible en la jornada laboral para esta empresa, que cuenta con un tiempo disponible de 22 horas diarias de producción, repartidos en los 3 turnos; por lo cual es necesario la disminución de estos tiempos para generar un mayor aprovechamiento de la máquina y del proceso.

La máquina cuenta con 6 estaciones de trabajo, al realizar los cambios de moldes por una nueva orden de producción, estos tiempos se van a incrementar considerablemente, ya que, si se lleva a cabo por separado las actividades y se habilitan las 6 cabinas disponibles, se estaría hablando de un promedio de 6 horas dedicadas al alistamiento, lo que corresponde al 27 % del tiempo disponible por jornada diaria. Además de eso, se genera una alta carga para el operario, ya que debe realizar la preparación y también operar la maquinaria.

Se realiza el análisis de la información obtenida por medio de la observación directa y la suministrada por los operarios y los encargados de la máquina No. 4 en el proceso de inyección EVA, con el fin de identificar las falencias que se están presentando y plantear oportunidades de mejora. Se abordan las tres etapas de aplicación de la herramienta SMED con sus respectivas consideraciones y se utilizó el análisis ECRS (eliminar, combinar, reducir, simplificar) para poder optimizar las actividades realizadas.

A continuación, se describen las etapas desarrolladas para la aplicación de la herramienta SMED, integrando una etapa de control y seguimiento al finalizar la mejora, “En este estudio se utiliza la técnica de observación participante directa, dado que uno de los investigadores hace parte de la organización y del equipo de trabajo en el área donde se desarrollará el proyecto” [13, p. 71]

Etapa 1. SMED: clasificación de las actividades internas y externas

Esta fase corresponde a la organización de las actividades, clasificándolas y separándolas como *configuración*

interna, las realizadas con la máquina parada, y *configuración externa*, aquellas actividades realizadas con la máquina en funcionamiento.

Para realizar la clasificación de las actividades, se hizo la correspondiente observación del paso a paso en el proceso de cambio de moldes, puesto que las estaciones son iguales y se tiene el mismo procedimiento para cada una de estas.

Se puede evidenciar que todas las actividades se realizan como tareas de configuración interna, puesto que la máquina se encontraba detenida. Es notable la cantidad de repeticiones que se presentan en el proceso, desde la búsqueda de herramienta hasta los traslados que se presentaban. En esta observación, se presentaron 2 imprevistos, el primero fue la ruptura de un tornillo eje de la caja superior del molde, el cual se presume que se debe a una aplicación excesiva de fuerza, esto generó un retraso de casi 7 minutos, mucho de este tiempo se encuentra distribuido entre traslados del operario a buscar herramientas, ajustes repetitivos de las piezas o comprobación del funcionamiento de la máquina.

El otro imprevisto que se presentó fue el purgado que realiza el operario, el cual no tuvo resultados, ya que el residuo de los polímeros se queda atascado en los conductos por los cuales se inyecta el material, esto puede provocar fallos en la inyección y puede afectar el molde o la calidad del producto. Este purgado significó un tiempo de 3 minutos y medio, y después de esto fue necesaria la ayuda del área de mantenimiento. Esto evidencia que los moldes no fueron acondicionados cuando finalizaron su proceso anterior ni antes de ser puestos en la máquina.

Etapa 2. Clasificación por tipo de operación y actividad (interna o externa)

“Las operaciones de preparación interna descritas anteriormente se convierten en operaciones de preparación externa, que pasan a realizarse mientras la máquina está en marcha. Para realizar esta conversión se realiza un análisis individual de las operaciones en conjunto con el jefe de producción y mantenimiento, en la que se pudo balancear la carga del operario sin requerir inversión alguna, solo un reordenamiento de las operaciones realizadas. Esto implica un gran desafío, pues para que el operario realice esta nueva secuencia de actividades se requiere una capacitación frecuente” [14, p. 112]

Todas las actividades se realizan con la máquina apagada, por lo tanto, se procede a realizar la clasificación de la operación en 8 grupos distintos que son: i) revisión mecánica, ii) cambio, iii) limpieza, iv) control,



v) transporte, vi) movimiento, vii) tiempo de espera e viii) imprevistos. Cada actividad se describe y clasifica como se muestra en la figura 3.

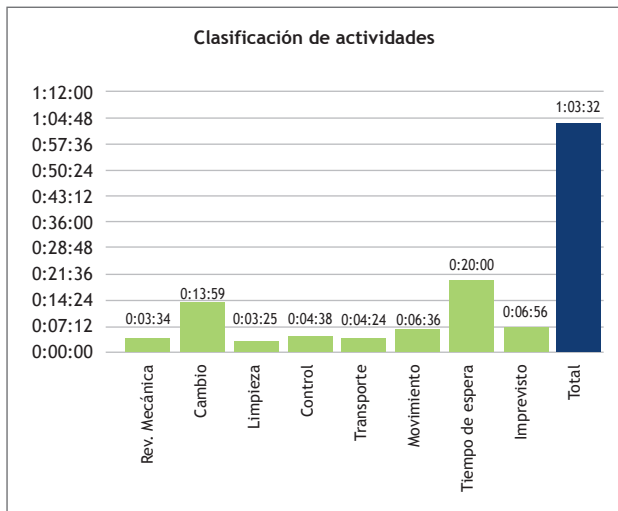


Figura 3. Clasificación de actividades.
 Fuente: elaboración propia.

Conversión de actividades internas a externas

En el procedimiento observado, se evalúa la conversión de muchas de las actividades internas a actividades externas (con la máquina encendida), puesto que esto disminuirá los tiempos de espera al realizar actividades en paralelo.

Como se evidencia en la consolidación de la tabla 4, las actividades se realizan con la máquina detenida. Para la implementación de la mejora, se trabaja con los tiempos estándar obtenido, de 01:03:32 hrs., el cual es un tiempo muy elevado, ya que se realizan las tareas de forma lineal (una seguida de otra), por lo cual se proponen métodos para que se disminuya este tiempo.

La clasificación de las actividades realizadas anteriormente da lugar a la ejecución del análisis ECRS, puesto que este permite definir cuáles son las acciones de mejora que se deben llevar a cabo en cada uno de los pasos del cambio de moldes. Con la clasificación que se realizó en las 8 categorías se define un plan de mejora simplificando, eliminando actividades que no generen el valor necesario al proceso.

Según el análisis y la clasificación realizada, las operaciones de cambio y los movimientos son los más repetitivos, juntas suman un tiempo superior a 20 minutos, y estas a su vez se podrían estar realizando cuando la máquina está en funcionamiento.

Se puede también evidenciar que en este proceso se clasificaron unas actividades como imprevistas, y a pesar

de que su tiempo no es el más alto, es importante poner atención porque pueden causar afectaciones grandes en el proceso. Este tipo de situaciones son aleatorias y requieren de mucha capacidad y habilidad por parte del operario para solucionar de manera efectiva.

Etapa 3. Mejora sistemática de operaciones básicas

El análisis ECRS también propone la eliminación de las actividades que no generan valor al proceso, como lo son, por ejemplo, los traslados excesivos, los movimientos a buscar herramientas y piezas, las operaciones manuales que deberían ser realizadas por otro operario, unir actividades que podrían realizarse al tiempo y facilitar las actividades de los operarios con las herramientas de trabajo.

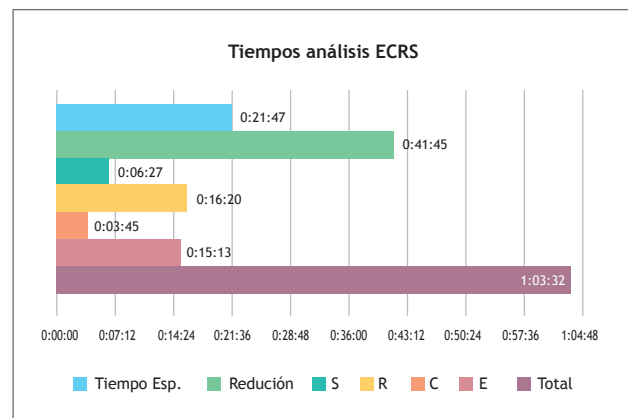


Figura 4. Análisis de tiempos ECRS.
 Fuente: elaboración propia.

En la figura 4, se pueden observar que las reducciones con el análisis ECRS son notables, sumando un tiempo de 45:15 minutos, esto es el 67 % del tiempo inicial medido. Hay varias actividades repetitivas que se pueden fusionar y hay actividades que se encuentran categorizadas como “No valor agregado”, por lo cual son susceptibles a eliminar. Un punto clave en este análisis es poder definir una mayor simplificación de la operación, definiendo si el operario que va a realizar el procesamiento debe ser el mismo que hace el alistamiento de la máquina, o si eso realmente le corresponde a un trabajador mucho más capacitado.

Se puede observar que después de aplicar las recomendaciones de esta metodología, se logra llegar a un tiempo de alistamiento de 21:50 minutos, lo cual representa menos de la mitad del tiempo actual, lo que permite al operario realizar una operación más simplificada y cómoda en lugar de invertir grandes cantidades de tiempo en el alistamiento.



Las actividades externas para este proceso fueron definidas como todas aquellas que se pueden llevar a cabo mientras la máquina aún está en marcha, por ejemplo:

- Preparación de documentación, formatos, órdenes de producción, etc.
- Transporte de moldes.
- Mantenimiento y purgado de moldes.
- Selección de herramienta necesaria.
- Preparación de piezas y repuestos necesarios en caso de imprevistos.

Actividad	Interna	Externa	Tiempo	
			Interna	Externa
Inicio alistamiento				
Enfriamiento y limpieza de moldes	X		0:01:18	0:00:00
Selección herramientas		X	0:00:00	0:01:10
Búsqueda de moldes según OP		X	0:00:00	0:04:43
XDesajuste 4 tornillos inferiores	X		0:00:42	0:00:00
Desajuste dados	X		0:01:48	0:00:00
Desajuste 4 tornillos superiores	X		0:00:45	0:00:00
Apertura y revisión de cabina	X		0:00:08	0:00:00
Retiro moldes ref. A	X		0:01:53	0:00:00
Traslado moldes ref. A a Almacenamiento		X	0:00:00	0:03:38
Levantamiento carro elevador		X	0:00:00	0:01:28
Revisión orden de producción		X	0:00:00	0:00:10
Instalación moldes ref. B	X		0:01:45	0:00:00
Ajuste 4 tornillos superiores	X		0:03:41	0:00:00
Ajuste dados	X		0:01:14	0:00:00
Ajuste 4 tornillos inferiores	X		0:03:22	0:00:00
Cierre de cabina y comprobación	X		0:00:54	0:00:00
Purgado moldes		X	0:00:00	0:02:09
Inicio operación			0:00:00	0:00:00
Total alistamiento		0:30:48	0:17:29	0:13:18

Tabla 5. Configuración de actividades con SMED.

Fuente: elaboración propia.

Las actividades realizadas se pueden simplificar y agrupar como se ve en la tabla 4, en la cual se detallan las actividades en conjunto y su clasificación (interna o externa), para que se puedan valorar y proponer soluciones de una manera más clara. Se agrupan en grandes actividades y muestran un resultado de 30:48 minutos, por lo cual, se puede decir que se trabaja con una reducción considerable de 37 minutos con respecto al tiempo inicial. También se genera más orden a la hora de realizar las actividades, siendo la configuración externa fundamental para realizar los cambios de molde de una manera fácil y rápida.

La inyectora EVA tiene 6 estaciones, con un cambio de molde simultáneo en las 6 estaciones y aplicando la metodología de alistamiento SMED se tardan en promedio 2,5 horas realizando los 6 cambios de molde, lo que logra una reducción de 3,5 horas, que representa un 58,3 % de mejora.

Otro punto importante para destacar del estudio de movimientos que se realiza en los análisis del SMED y el ECRS, con la filmación del proceso, es que el operario realiza una gran cantidad de recorridos entre la máquina y la zona de almacenamiento y mantenimiento, llegando incluso a necesitar mover cajas que se encontraban en el camino, las cuales tienen producto en proceso o en muchos casos son productos defectuosos. Estos movimientos pueden generar fatiga al operario o si son realizadas con los moldes pueden provocar agotamiento o alguna lesión porque, a pesar de ser llevados en un carro elevador, se debe aplicar una cantidad de fuerza para poder desplazarlos.

Después de visualizar cuales son las actividades internas y externas se procede a generar las respectivas recomendaciones según la consideración y selección de las actividades de configuración interna y externa.

III. RESULTADOS

Después de realizar la implementación por medio de la herramienta SMED y el análisis ECRS, se plantean distintas acciones para el mejoramiento del proceso de alistamiento, partiendo principalmente de la organización y la simplificación de las actividades; Muchas de las tareas principales se pueden tener preparadas con anterioridad para evitar retrasos, puesto que un solo cambio de moldes representa en promedio 1 hora, pero si se necesitan cambios en todas las estaciones de trabajo, se requiere un tiempo de 2,5 horas.

En el proceso de cambio de molde, las actividades de preparación son claves y por esto se deben haber realizado, antes de iniciar el proceso, estas se pueden organizar como actividades externas y pueden contar con la colaboración de un operario que se encuentre disponible en el momento, para facilitar los movimientos y las fuerzas aplicadas a la hora del transporte de moldes.

El flujo del proceso definido para la actividad de cambio de moldes es el descrito a continuación:

1. Retirar el molde referencia A y llevarlo a mantenimiento para que se realice la correspondiente limpieza y revisión.

- Organizar los moldes en los lugares designados según especificaciones técnicas de cada molde.
- Revisar la orden de producción para ubicar efectivamente donde se encuentra cada molde y los recursos necesarios.
- Reunir los moldes y ubicarlos a un lado de la máquina.
- Seleccionar la herramienta necesaria y tenerla a un lado con el fin de que estas sean asequibles para el operario.
- Realizar la instalación de los moldes de referencia B, procurando efectuar el ajuste necesario y comprobar desde el inicio que no se presenten errores.
- Realizar la inspección visual en la cabina para comprobar que todo se encuentre bien ajustado y que todos los sistemas estén en orden.
- Realizar el correspondiente chequeo de los parámetros de la máquina, ajustándola a los requisitos especificados por el personal calificado.
- Realizar una inyección de prueba para validar que todas las piezas se encuentran bien instaladas y verificar la calidad de la instalación.
- Limpiar cada molde y revisar que no existan obstrucciones en los conductos de inyección.
- Inspeccionar el producto creado para comprobar la calidad de la inyección y realizar los correspondientes ajustes en la máquina, según sea el caso.

El flujo definido permite una simplificación de las actividades, en la cual solamente se tienen en cuenta aquellas que generan valor al proceso, reduciendo las operaciones de transporte y búsqueda de herramientas y equipos.

Como evidencia, ahora se pasa de un conteo descrito paso a paso de 51 actividades (tabla 3), a una cantidad de 18 actividades categorizadas en general (tabla 5) y eliminando aquellas actividades que generan desaprovechamiento del tiempo. Esta reorganización propone un tiempo de alistamiento de 30:48 minutos.

La diferencia del tiempo de alistamiento alcanzada con la propuesta de la herramienta SMED fue de: 1:03:32 hrs. (sin SMED) - 0:30:48 hrs. (con SMED) = 0:32:44 hrs. (diferencia de tiempo).

Esto quiere decir que en el proceso de alistamiento se logra una reducción superior a la mitad del tiempo inicial, lo cual significa un gran impacto si se tiene en cuenta que hay momentos en los que esta actividad se puede realizar de forma simultánea para otras estaciones.

Los resultados arrojados por la aplicación de la herramienta SMED, le significan a la empresa un aumento de la capacidad efectiva de 3420 pares/día, a 3744 pares/día, lo que se traduce en una mejora de 9,5 %.

Movimientos y traslados

En lo que tiene que ver con los movimientos de los operarios, se define que el operario encargado de la actividad de alistamiento realiza una preparación previa, en la cual se organizan todos los elementos necesarios próximos a su área de trabajo, llevando a cabo los siguientes flujos donde se tienen tres grandes paradas y 2 movimientos que se describen de la siguiente manera:

- Posición 1. Estanterías.
- Posición 2. Mantenimiento.
- Posición 3. Máquina.



Figura 5. Diagrama de recorrido con SMED.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 5 se muestran los flujos simplificados para los movimientos que debe hacer el operario en la preparación del alistamiento. Se propone un cerramiento en la parte superior del área donde se encuentra actualmente ubicada la estantería de las herramientas y los repuestos, y se ubique al lado de la máquina inyectora para permitirle al operario tener a la mano todo lo necesario al momento de presentarse un imprevisto.

Los moldes deben estar dispuestos en las estanterías (1) para que sean trasladados desde ahí, hasta el área de mantenimiento (2), donde el encargado les realiza el correspondiente acondicionamiento de limpieza y condición mecánica. El operario al ser alguien que se encuentra especializado en esta labor, se espera que no se presenten retrasos y de existir algún inconveniente, este lo podrá solucionar de forma oportuna. [16]

Al estar listos, los moldes deben ser trasladados del área de mantenimiento (2) a la máquina donde se realizará el cambio de moldes (3), ya que se busca tener las herramientas cerca a la máquina. Esta simplificación está incluida dentro de la eliminación de las actividades que no generan valor al proceso, como lo describe el SMED y el análisis ECRS.

$$\Delta t = \frac{T_{SMED} - T_{ACTUAL}}{T_{ACTUAL}} = \frac{0:30:48 - 1:03:32}{01:03:32} * 100 = -51, 53 \%$$

Ecuación 1. Cálculo de la variación en el tiempo de alistamiento.

Fuente: elaboración propia.

Ubicación de los moldes

Una de las falencias más importantes que se encontró fue la falta de organización para los moldes de producto, lo cual se tradujo en un tiempo perdido de 10 %, equivalente a casi 6 minutos del proceso, para esto se reorganiza toda el área de estantería, como se ilustra en la figura 6, disponiendo de una clasificación de los moldes según criterios principales, los cuales son:

- Talla.
- Referencia.
- Maquinaria asignada o más usada.
- Nivel de rotación del producto.

Lo anterior permite que, en el momento de buscar los moldes, el operario sepa en qué zona de las estanterías debe buscar y no se generen así pérdidas de tiempo y movimientos innecesarios.

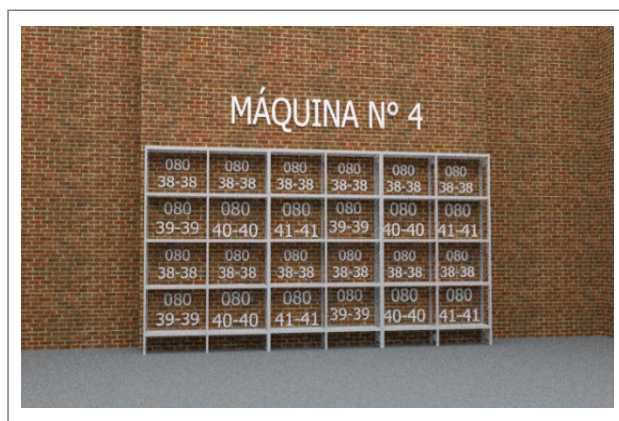


Figura 6. Propuesta de estantería para moldes.

Fuente: elaboración propia.

Para la máquina en cuestión (máquina No. 4), el producto más trabajado es el de dotación, y la referencia que más rotación presenta es la 080, por lo cual los moldes se disponen y organizan para lograr un acceso más rápido.

Es importante, en este caso, demarcar de manera clara la ubicación de cada molde según convenga y la disposición de estos en forma simple o doble, teniendo en cuenta que estos últimos poseen un mayor peso y no se deben ubicar a alturas considerables, con el fin de evitar riesgos laborales para los operarios. [17]

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El estudio realizado demuestra claramente que la aplicación adecuada de la metodología SMED genera grandes resultados a nivel de productividad, capacidad efectiva y costos de producción para las empresas que fabrican altos volúmenes y gran cantidad de referencias en el sector de plásticos y cauchos, u otros sectores que requieran el uso de moldes y troqueles en sus procesos de manufactura, sin importan la tipología de la empresa.

Desde luego, que la sola aplicación de la metodología SMED no garantiza los resultados esperados, es muy importante que este enmarcada dentro del enfoque *lean manufacturing*, en el que se promueva:

- Una cultura hacia la calidad y el mejoramiento continuo.
- Análisis científico del trabajo a través de la técnica ECRS.
- Análisis de problemas con evidencias y hechos.
- El trabajo en equipo.
- Aplicación de las 5S en el área de trabajo.
- Capacitación permanente de los colaboradores.
- Una cultura hacia la seguridad y salud en el trabajo (SST).

Los tiempos de mejora expresados pueden ser sujetos a cambios según consideraciones de los líderes de la unidad de negocio, puesto que se busca generar una estandarización que favorezca a todo el equipo de trabajo y la experticia va a ser un factor clave en el desarrollo de las actividades de cada operario.

Los espacios en el área de inyección de muchas empresas en ocasiones se ven limitados por el WIP (*work in process*), ya que el sobrante o desperdicio del proceso es denominado como un semielaborado, que debe esperar para ser procesado en la siguiente área de trabajo, lo que genera un cuello de botella que afecta el desarrollo de las actividades del área de inyección. En el estudio, se encontró que la técnica 5S utilizada en *lean manufacturing* contribuye a mitigar el impacto de los cuellos de botella presentados. [17]

Los resultados alcanzados en el estudio son una contribución adicional a los buenos resultados presentados en la literatura referente a la aplicación de las metodologías del *lean manufacturing*. No obstante, es necesario tener en cuenta algunas críticas realizadas por algunos autores en el sentido que estas metodologías pueden generar estrés y fatiga en los operarios por pretender flujos continuos, entregas justo a tiempo y cero inventarios en proceso.

V. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta el objetivo del estudio realizado, los resultados obtenidos por la aplicación de la herramienta SMED permiten presentar una propuesta para el proceso de alistamiento de molde que en su implementación le significó a la empresa una reducción de 32:44 minutos (paso de 1:03:32 hrs. a 0:30:48 hrs), equivalente al 51,53 % del tiempo actual utilizado, logrando un incremento de la capacidad efectiva y productividad del 9,5 %; esto también se traduce en que se pasó de fabricar 3420 pares/día a 3744 pares/día.

Al disponer del método estandarizado para el alistamiento en el cambio de moldes en la máquina No. 4 bajo la metodología SMED, se cuenta con un método que se puede replicar en otras máquinas inyectoras de la empresa y constituirse en base para futuras mejoras de la propuesta presentada. También es importante contar con una metodología que fue comprobada con éxito en la práctica y podría servir de guía para su implementación en otras empresas del sector de plásticos y cauchos.

Antes de implementar la metodología SMED en la empresa, se hace necesario realizar un estudio de métodos de trabajo a través del análisis ECRS con el objeto de obtener el método adecuado y el tiempo estandarizado para llevar a cabo el proceso de alistamiento.

Es notoria la necesidad de contar en el ámbito laboral con una iniciativa gerencial comprometida con el mejoramiento continuo que promueva el liderazgo, el compromiso y la participación de todos los colaboradores a través de las actividades cooperativas, encaminadas hacia el interés común de alcanzar los objetivos propuestos con la metodología SMED.

REFERENCIAS

[1] J. D. Rebolledo y S. Alejandro, “Propuesta de implementación para la reducción de los tiempos de cambio de molde bajo sistema SMED en las inyectoras del área de plásticos en una empresa

del norte del Cauca”, tesis de pregrado, Fundación Universitaria de Popayán, Popayán, 2020. Disponible en: <http://unividaup.edu.co/repositorio/files/original/843523f860472bbaf409ae56a245c310.pdf>

- [2] E. O. Manyari. “Propuesta de implementación de la metodología SMED en el área de inyección de accesorios de PVC, para incrementar la disponibilidad de los equipos de la empresa Mexichem Perú, El Agustino-2019”, tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, 2020. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12802/7768>
- [3] M. Rajadell y J. L. Sánchez, *Lean manufacturing: la evidencia de una necesidad*, México: Ediciones Díaz de Santos, 2010.
- [4] S. Taj y L. Berro, “Application of constrained management and lean manufacturing in developing best practices for productivity improvement in an auto-assembly plant”, *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 55, no. 3-4, p. 332-345, 2006. Doi: <https://doi.org/10.1108/17410400610653264>
- [5] N. Alzate y J. E. Sanchez, “Estudio de métodos y tiempos de la línea de producción de calzado tipo ‘clásico de dama’ en la empresa de calzado Caprichosa para definir un nuevo método de producción y determinar el tiempo estándar de fabricación”, tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira. 2013. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11059/4017>
- [6] R. Chase, F. R. Jacobs y N. J. Aquilano, *Administración de operaciones*, 12.^a ed., Ciudad de México: McGraw-Hill, 2009. [7] Favela-Herrera, M. K., Escobedo-Portillo, M. T., Romero-López, R., & Hernández-Gómez, J. (04 de Julio de 2019). Herramientas de manufactura esbelta que inciden en la productividad de una organización: modelo conceptual propuesto. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/695/69563162008/html/>
- [7] Boletín Clockwork, “SMED: una inyección de flexibilidad al sistema productivo”, *Boletín Clockwork*, 2020, 6 julio. Disponible en: <https://n9.cl/eqy8hj>
- [8] Progressa Lean, “¿Qué es Smed?”, *Progressa Lean*, 2014, 15 abril. Disponible en: <https://n9.cl/jg4ny>
- [9] S. Shingo, *Una revolución en producción: el sistema SMED*, Madrid: Tecnologías de Gerencia y Producción, 1990.



- [10] D. A. Medina Salas, “Aplicación de la herramienta SMED para la reducción del tiempo de cambio de molde en la línea de inyección de plásticos en la empresa PLASTIMEC SAC”, tesis de pregrado, Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa, 2021. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12867/4385>
- [11] J. W. Alarcón Sornoza y D. A. Véliz Dorado, “Reducción de tiempos de cambio en la maquina acampanadora mediante la aplicación de la técnica SMED en la empresa Mexichem Ecuador S.A.”, tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2022. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23922>
- [12] J. A. Patiño Urresti y W. I. Hernández Cuadros, “Implementación de la metodología SMED para la reducción de los tiempos de cambio de molde en maquina inyectora de preforma Cali, Colombia”, tesis de pregrado, Institución Universitaria Antonio José Camacho, Cali, 2022. Disponible en: <https://repositorio.uniajc.edu.co/handle/uniajc/1196>
- [13] J. Arboleda y F. Rubiano del Chiaro, “Modelo propuesto para la implementación de la metodología SMED en una empresa de alimentos en Santiago de Cali”, *Revista de Investigación*, vol. 10, no. 2, pp. 102-117, 2017. Doi <https://doi.org/10.29097/2011-639X.85>
- [14] A. Sarmiento-Vásquez y E. López-Sandoval, “Una comparación cualitativa de la dinámica de sistemas, la simulación de eventos discretos y la simulación basada en agentes”, *Ingeniería Industrial*, no. 35, pp. 27-52, 2017. Doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2017.n035.1789>
- [15] C. J. Aceros Santamaria y Y. J. Diaz Gutiérrez, “Aplicación de herramientas Lean Manufacturing para optimizar el proceso de alistamiento y cargue en la empresa de transportes EXPRECAR SAS”, proyecto de investigación, Unidades Tecnológicas de Santander, Bucaramanga, 2021. Disponible en: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/8313>
- [16] C. E. García, “Implementación de la metodología SMED para la reducción de tiempos de alistamiento y limpieza en las líneas de producción 921-1, 921-2 y 921-3 de una planta farmacéutica en la ciudad de Cali”, tesis de pregrado, Universidad San Buenaventura, Cali, 2013. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10819/2101>
- [17] Àvila, B., Carvajal, E., & Castro, E. Rediseño de la gestión operativa del proceso productivo en el Área de Moldeo de Flex Costa Rica. Junio 2022. Obtenido de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/17403/1/46455.pdf>