



**Implementación de la metodología SMED (Single Minute Exchange of Die) en la línea de
ensamble número 9 de la empresa Prodevases S.A.S**

Cristian David Perafán Agudelo

Informe de Semestre de Industria presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Asesor Interno Sergio Cipriano Agudelo Flórez, Ingeniero Mecánico

Asesor Externo Juan Esteban García Montoya, Ingeniero Mecánico

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Mecánica
Medellín, Antioquia, Colombia
2023

Cita	(Perafán Agudelo, 2023)
Referencia Estilo IEEE (2020)	Perafán Agudelo, C. “Implementación de la metodología SMED (Single Minute Exchange of Die) en la línea de ensamble número 9 de la empresa Prodevases S.A.S” Trabajo de grado profesional, Ingeniería Mecánica, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, 2023.



Ingeniería Mecánica, Semestre de industria



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina

Jefe departamento: Pedro León Simanca

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO.....	6
1. RESUMEN	9
2. ABSTRACT.....	10
3. INTRODUCCIÓN	11
4. OBJETIVOS	12
4.1 Objetivo General:	12
4.2 Objetivos específicos:	12
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
6. MARCO TEÓRICO.....	16
6.1 METODOLOGÍA SMED	16
6.1.1 Etapas de la metodología.....	17
6.1.1.1 Etapa preliminar. Observar y medir.....	17
6.1.1.2 Etapa 1. Separar operaciones internas de las externas.....	17
6.1.1.3 Etapa 2. Convertir operaciones internas en externas.....	18
6.1.1.4 Etapa 3. Mejoramiento de actividades internas y externas.....	19
6.1.1.5 Análisis para la metodología.....	21
6.1.1.6 Herramientas y técnicas utilizadas en la metodología	21
7. ANTECEDENTES	23
8. METODOLOGÍA	25
9. RESULTADOS.....	43
10. CONCLUSIONES	49
11. REFERENCIAS	50

Lista de tablas

Tabla 1. Cambios de referencia realizados durante el año 2022.	14
Tabla 2. Sistema de producción Toyota desde la vista de ingeniería. Shigeo Shingo.	17
Tabla 3. Tiempos reales vs estándar mes a mes año 2022.	27
Tabla 4. Cronograma de actividades del cambio de referencia antes de aplicar SMED.	29
Tabla 5. Cronograma de actividades del cambio de referencia antes de aplicar SMED.	30
Tabla 6. Cronograma de actividades del cambio de referencia antes de aplicar SMED en la Cizalla.	31
Tabla 7. Tiempo de actividades para cambio de referencia, estado inicial	34
Tabla 8. Tiempo por actividades de CR y PP en el módulo, estado inicial.	35
Tabla 9. Lista de chequeo para cambio a diámetro 300mm	38
Tabla 10. Lista de chequeo tornillería para cambio a diámetro 300mm	38
Tabla 11. Lista de chequeo para cambio a diámetro 401mm	39
Tabla 12. Lista de chequeo tornillería para cambio a diámetro 401mm	39
Tabla 13. Lista de chequeo para cambio a diámetro 303mm	40
Tabla 14. Lista de chequeo tornillería para cambio a diámetro 303mm	40
Tabla 15. Lista de chequeo para cambio a diámetro 313mm	41
Tabla 16. Lista de chequeo tornillería para cambio a diámetro 313mm	41
Tabla 17. Cronograma de actividades del cambio de referencia después de aplicar SMED	44
Tabla 18. Cronograma de actividades del cambio de referencia después de aplicar SMED	45
Tabla 19. Tiempo por actividades de CR y PP en el módulo, estado final.	46
Tabla 20. Tiempo de actividades para cambio de referencia, estado final.	47

Lista de figuras

Figura 1. Composición de un envase metálico.....	6
Figura 2. Tiempos de cambio de referencia real vs estándar.	15
Figura 3. Flujograma de producción línea de ensamble 9.....	26
Figura 4. Estado del gabinete de la línea antes de aplicar SMED.....	32
Figura 5. Diagrama causa-efecto de la problemática de altos tiempos en cambios de referencia.	33
Figura 6. Diagrama circular por equipo en porcentaje de tiempo	35
Figura 7. Diagrama de barras de actividades en el módulo, con porcentaje acumulativo	36
Figura 8. Estado del gabinete de la línea después de aplicar SMED.	37
Figura 9. Restauración y adecuación insumos para SMED	42
Figura 10. Estado actual vs esperado en tiempo (min) al aplicar SMED.....	43
Figura 11. Diagrama de barras de actividades en el módulo, estado final, con porcentaje acumulativo	46
Figura 12. Diagrama circular por equipo en porcentaje de tiempo, después de aplicar SMED.....	48

GLOSARIO

Envase metálico:

Un envase metálico se define en términos generales como un recipiente rígido fabricado a partir de láminas metálicas, con el fin contener o preservar productos líquidos y/o sólidos, el cual tiene cierre hermético para evitar la fuga o salida del producto previo a su uso.

Partes del envase:

Durante el proceso de ensamble del envase, se realiza la unión de elementos como el cuerpo, fondo, anillos, tapa, como se puede observar a continuación. Cada uno de ellos obtenidos por procesos en paralelo donde se fabrican a partir de hojalata igualmente. [1]



Figura 1. Composición de un envase metálico

Hojalata:

La hojalata es una lámina de poco espesor, de acero recubierta con una capa de estaño, donde la composición se basa en las propiedades que aporta cada uno de ellos, siendo el acero el que proporciona resistencia, dureza y maleabilidad mientras que el estaño proporciona la preservación del producto que se planea contener o que estará en contacto con la lámina. [2]

Inocuidad alimentaria:

Se considera como el conjunto de condiciones y medidas necesarias durante la producción, almacenamiento, distribución y preparación de alimentos para que, al ser consumidos o usados por las personas, no se presencia un riesgo o alguna enfermedad para salud debido a mala preservación o contacto indeseado del producto con el exterior. [3]

Ensamble:

Proceso mediante el cual diferentes componentes son unidos o acoplados para brindar una función en específico.

Línea de ensamble:

Se refiere al conjunto de máquinas operativas, las cuales llevan un proceso consecutivo y ordenado, con el fin de ensamblar un envase metálico paso a paso (cada paso corresponde a una máquina).

Cambio de diámetro:

Se refiere al proceso de cambio de las diferentes herramientas para producir una referencia que posee un diámetro nominal diferente al producido en la referencia anterior, en la cual se puede conservar la altura del envase a fabricar, o podría variar igualmente según el lote a fabricar.

Equipo SMED:

Grupo de personas pertenecientes al departamento de ensamble que da seguimiento al cumplimiento del tiempo total de cambio establecido y la implementación del plan de acción de mejora continua. [4]

Flexibilidad de la producción:

Cuando el proceso de fabricación es susceptible a modificaciones o mejoras a partir de los requisitos/parámetros sobre los cuales se opera comúnmente.

Plan de mejora continua:

Son aquellas actividades programadas en forma cronológica y plasmadas en un plan con el fin de disminuir los tiempos de cambio de herramienta. En estos van inmersas las actividades tanto del líder del equipo, como del personal de mantenimiento.

Procedimiento estándar de operación (PEO):

Sistema de documentos que involucran al factor humano (equipo SMED y personal del cambio de referencia) para asegurar la repetitividad de las operaciones en la línea de ensamble, es decir, que se garantice un resultado a partir de las mismas condiciones de trabajo establecidas.

Disponibilidad:

Indicador mediante el cual se mide el tiempo real de producción de la línea sobre el tiempo total programado que se tenía disponible para producir. En este afectan fallas o paros fortuitos, los mantenimientos preventivos o paros programados, no interfieren en el tiempo disponible.

Tiempo total de cambio:

Tiempo transcurrido entre la fabricación del último envase metálico de una referencia en específico, con altura y diámetro conocido, hasta la fabricación del primer envase con diferente especificación.

Herramienta:

Son las partes desmontables o intercambiables de alguna sección de la línea de ensamble, algunas se consideran fijas respecto a que, a pesar de trabajar diferentes referencias, estas no deben variar su posición para cumplir su función. Sin embargo, están sujetas a desgaste por operación.

1. RESUMEN

Este trabajo presenta la implementación exitosa de la metodología SMED (Single Minute Exchange of Die) en la línea de ensamble #9 (L9) de PRODENVASES S.A.S. El objetivo era mejorar el proceso de intercambio de herramientas para fabricar envases con diferentes diámetros (211mm o 307mm). Se realizó un análisis detallado de cada etapa del cambio de referencia en colaboración con el área de mantenimiento, seguido de un plan de acción para abordar los puntos críticos que consumían más tiempo. La estandarización permitió que todo el personal capacitado llevara a cabo el proceso con éxito.

La aplicación de la metodología SMED logró reducir significativamente el tiempo total del cambio de referencia en la línea y el tiempo empleado por el personal en estas tareas, liberando tiempo para otras necesidades en la planta. Esto se tradujo en un aumento de la productividad anual en la fabricación de envases, mejorando a largo plazo la rentabilidad de la empresa. Con esta iniciativa, PRODENVASES S.A.S. optimizó su eficiencia y competitividad en el mercado.

2. ABSTRACT

This work presents the successful implementation of the SMED (Single Minute Exchange of Die) methodology in assembly line #9 (L9) at PRODENVASES S.A.S. The objective was to improve the tool exchange process, particularly when working with two different diameters (211mm or 307mm) in container manufacturing. A detailed analysis of each step in the reference change was conducted in collaboration with the maintenance department. A well-designed action plan was executed to address critical points that consumed more time, followed by standardization to enable all trained personnel to carry out the process.

The application of the SMED methodology effectively reduced both the total time required for the reference change in the assembly line and the time dedicated by the personnel to these activities, providing more availability for other needs within the plant. Consequently, annual productivity increased in terms of the number of manufactured containers, leading to long-term improvements in the company's profitability. With this initiative, PRODENVASES S.A.S aimed to optimize its efficiency and competitiveness in the market.

3. INTRODUCCIÓN

Este estudio se centró específicamente en el área de producción de envases metálicos de la empresa PRODENVASES S.A.S, compañía dedicada a la fabricación y comercialización de envases para fines alimenticios e industriales, dentro de la cual se analizó el área de metálicos. En ella se encuentran las líneas de ensamble, responsables de fabricar envases de hojalata. Una de las líneas de mayor atención o enfoque en respuesta a las necesidades de los clientes, es la línea de ensamble número 9 (L9), que consta de varias secciones clave, como la cizalla, la soldadora, el horno, módulos de cierre y paletizador. En todo ello se ve involucrado un factor técnico, debido a que cada envase producido se identifica por sus dimensiones principales, como altura y diámetro, y cuando se completa un lote de una referencia, es necesario realizar ajustes y cambios de herramientas para comenzar la producción de otro tipo de envase (diferente diámetro y/o altura). Estos cambios pueden resultar en tiempos muertos significativos, lo que potencialmente afecta la entrega puntual de los pedidos de los clientes o interfiere con la programación de otras líneas de ensamble.

La implementación de la metodología SMED (Single Minute Exchange of Die) fue una solución clave para reducir estos tiempos muertos y paros programados, ya que la línea 9 es la que experimenta la mayor cantidad de cambios de referencia a lo largo del año. El objetivo principal de este estudio fue mejorar la disponibilidad de la línea al disminuir los tiempos de cambio de herramientas y aumentar la eficiencia en la producción de envases. Una vez obtenidos los resultados presentando una mejora en la línea 9, se buscó estandarizar el proceso en caso de replicarlo en las demás líneas de ensamble.

Para lograr este objetivo, se realizaron mediciones precisas de los tiempos de ajuste en cada una de las secciones de la línea. Además, se identificaron las actividades internas que requieren detener la máquina y las actividades externas que no lo hacen, con el fin de proponer mejoras adecuadas. Estas mejoras podrían incluir el acondicionamiento de equipos según el caso. Finalmente, se llevó a cabo la ejecución del plan de mejora y se evaluó el alcance del proyecto en términos de reducción de tiempos de cambio de herramientas y aumento de la disponibilidad para producir envases. Con esta investigación, se buscó contribuir al crecimiento y éxito continuo de Prodenvases S.A.S

mediante la optimización de su proceso de producción, lo que se vería reflejado en una mayor satisfacción del cliente, por una entrega oportuna de pedidos y una mayor competitividad en el mercado.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General:

- Ejecutar la metodología SMED en la línea de ensamble número 9 para la fabricación de envases metálicos, por medio de datos previamente analizados, con el fin de lograr la disminución de tiempos durante los cambios de referencia que se llevan a cabo.

4.2 Objetivos específicos:

- Realizar la toma de tiempos que toma actualmente un cambio de herramientas para llevar a cabo producción de diferente referencia al montaje usado por última vez.
- Determinar con ayuda de los mecánicos y personal de mantenimiento, qué actividades deben ejecutarse con paro de máquina y cuáles no.
- Proponer acciones para la disminución de tiempos de dichos cambios, evaluadas por el personal que apoya y ejecuta la actividad.
- Evaluar la efectividad de los cambios una vez realizados, incluyendo la nueva toma de tiempos para su análisis cuantitativo.
- Estandarizar y divulgar el procedimiento para el personal que está involucrado en estos cambios de referencia, igualmente dejar registro de lo realizado para que sea usado como guía para futura aplicación de la metodología en el resto de la planta.

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa Prodevases S.A.S tiene entre sus objetivos fortalecerse en el mercado tanto nacional como internacional, por lo cual toda su estructura interna está conformada de modo que se opere de manera íntegra, dirigidos hacia los mismos propósitos. Con base a esto, el área de mantenimiento entre sus procesos y estrategias de mejora continua ha realizado un seguimiento a las líneas de ensamble en el área de metálicos, con el fin de aumentar la productividad de esta, no solo a partir de análisis mecánico reflejado en variables como la velocidad de producción máxima que se puede ejecutar, sino a partir del ataque hacia esos procesos externos o tiempos muertos que afectan tanto el orden establecido de operación como el cronograma de trabajo para cumplir con las entregas a los clientes de la compañía.

Es a partir de ello, que se realizó el estudio de producción en el año 2022, donde la compañía tuvo una producción obtenida por medio de la línea de ensamble número 9 (sobre la cual se hace énfasis ya que es la de mayor programación en tiempo anual), con un estimado de 337,53 toneladas de envases metálicos, que, entre sus diferentes montajes, se identificó una cantidad de 8'099.226 unidades producidas, entre los cuales se trabajan comúnmente referencias de diámetro 300mm, 401mm, 303mm y 313mm, principalmente los dos primeros diámetros son los más fabricados.

Para estas producciones se requirió un tiempo de programación de alrededor de 204.639 minutos es decir 3.410 horas, entre lo cual se registró un tiempo de cambio de herramienta de 98.935 minutos, o 1.648 horas como se puede ubicar en la tabla 1 y figura 2, lo cual equivale alrededor de un 48,32% del tiempo programado para llevar a cabo la fabricación de dichos envases.

Es notorio como el tiempo de cambio de referencia estándar definido por el personal de mantenimiento e ingeniería, era un promedio de 840 min, sin embargo, los tiempos de estos en promedio mensual, están por encima de este valor, siendo en general más tardíos de lo esperado por el tiempo estándar establecido. [5]

Mes	Tiempo Total	Línea	solicitado	Hora	Entregado	Hora	Tiempo de ejecución	Tiempo estándar
ENERO	9840	L9	6/01/2022	13:26	13/01/2022	9:26	9840	840
FEBRERO	3436	L9	2/02/2022	7:12	4/02/2022	6:06	2814	840
		L9	7/02/2022	11:40	9/02/2022	6:13	2553	840
		L9	19/02/2022	7:11	22/02/2022	17:35	4941	840
MARZO	3476	L9	5/03/2022	10:30	8/03/2022	6:00	4050	840
		L9	9/03/2022	20:52	12/03/2022	16:54	3962	840
		L9	14/03/2022	7:14	15/03/2022	23:31	2417	840
ABRIL	3441	L9	11/04/2022	21:57	14/04/2022	6:38	3401	840
		L9	18/04/2022	6:00	18/04/2022	19:29	809	840
		L9	23/04/2022	7:52	23/04/2022	14:00	368	840
		L9	24/04/2022	22:00	30/04/2022	7:05	9185	840
MAYO	1747	L9	2/05/2022	10:47	5/05/2022	17:31	1844	840
		L9	20/05/2022	11:03	31/05/2022	14:32	1649	840
JUNIO	1607	L9	8/06/2022	14:59	10/06/2022	17:31	1952	840
		L9	14/06/2022	15:10	17/06/2022	16:56	1546	840
		L9	22/06/2022	17:20	24/06/2022	15:23	1323	840
JULIO	3064	L9	1/07/2022	18:24	2/07/2022	22:00	1656	840
		L9	5/07/2022	6:00	6/07/2022	11:47	1787	840
		L9	12/07/2022	6:13	13/07/2022	13:17	1820	840
		L9	22/07/2022	11:46	27/07/2022	8:48	6994	840
AGOSTO	4480	L9	9/08/2022	11:04	10/08/2022	20:54	2030	840
		L9	22/08/2022	22:39	27/08/2022	18:08	6929	840
SEPTIEMBRE	2858	L9	7/09/2022	6:00	8/09/2022	22:00	1920	840
		L9	9/09/2022	11:30	14/09/2022	22:00	4470	840
		L9	21/09/2022	18:20	24/09/2022	6:45	2185	840
OCTUBRE	1644	L9	6/10/2022	6:00	8/10/2022	12:00	2280	840
		L9	11/10/2022	6:00	12/10/2022	9:30	1170	840
		L9	19/10/2022	20:15	20/10/2022	16:00	705	840
		L9	22/10/2022	18:15	24/10/2022	22:00	2145	840
		L9	26/10/2022	6:00	27/10/2022	22:00	1920	840
NOVIEMBRE	2770	L9	3/11/2022	14:45	8/11/2022	8:00	2400	840
		L9	11/11/2022	6:40	16/11/2022	11:00	3140	840
DICIEMBRE	2730	L9	5/12/2022	22:00	9/12/2022	19:30	2730	840
TOTAL	41093						98935	27720

Tabla 1. Cambios de referencia realizados durante el año 2022.

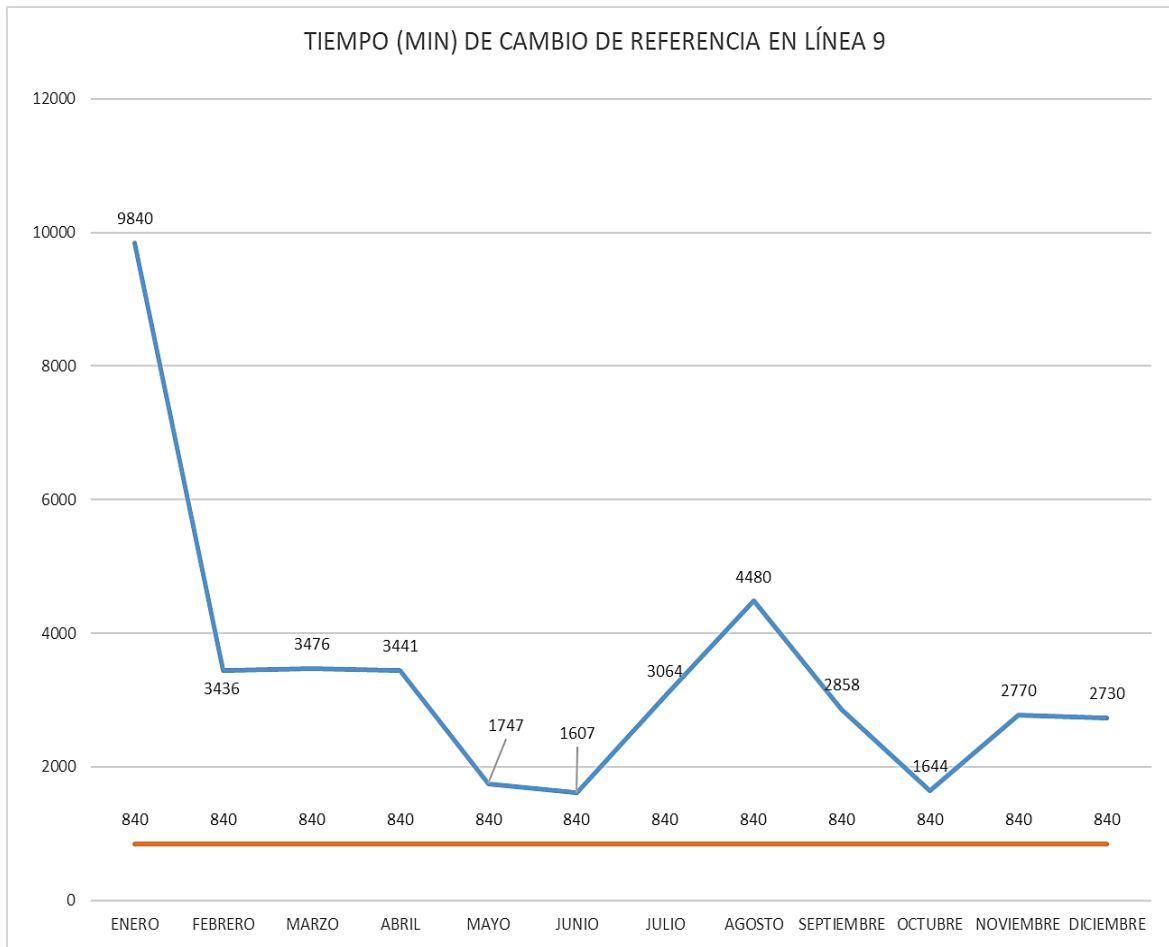


Figura 2. Tiempos promedio de cambio de referencia mensual real vs estándar.

Desde la parte productiva de la línea es realmente cuestionable los extendidos periodos de tiempo que ha tardado cada uno de estos cambios de referencia, en particular el mes de enero, sin embargo, en este particularmente hubo un lapso de 4 días más sobre la cual la línea se encontraba sin programación desde el área de producción, por lo cual este tiempo se atribuyó al cambio de referencia. Sin embargo, dentro de lo estrictamente conceptual sobre el tiempo de cambio de referencia, este es prolongado respecto a lo requerido, incluso a nivel anual su porción equivalente sobre el tiempo total programado es de una magnitud considerable teniendo en cuenta que, al ser menor, habría una cantidad mayor de unidades/toneladas producidas.

Por ello se buscó atacar esta problemática partiendo de un análisis en sitio cuando se presente un cambio de referencia, donde se tomó nota sobre los procedimientos realizados y la cantidad de tiempo que tomaba cada uno, clasificándolos por sección de la línea para generar y aplicando las estrategias necesarias con el fin de hacer efectiva la metodología SMED en esta línea de ensamble.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 METODOLOGÍA SMED

En la búsqueda de alcanzar una producción eficiente, es común encontrar obstáculos relacionados con la logística, organización y ejecución de procesos en una planta de fabricación. Estos obstáculos afectan la efectividad de la planificación y pueden generar complicaciones en una compañía que ofrece una variedad de dimensiones de envases debido a su maquinaria y demanda de clientes. Uno de los mayores desafíos radica en los tiempos de cambio de herramienta, es decir, en el montaje y desmontaje de herramientas para pasar de un lote de envases a otro con diferentes dimensiones (diámetro y/o altura). En este punto, la metodología SMED se vuelve relevante y exitosa, ya que fue desarrollada por el japonés Shigeo Shingo, inicialmente aplicada en Toyota, con el objetivo de reducir los tiempos de preparación a menos de 10 minutos. Esta técnica se basa en la simplificación, clasificación y optimización de actividades, garantizando que el personal pueda llevarlas a cabo de manera efectiva.[6]

Dentro de los tiempos muertos o improductivos considerados en un sistema de producción desde la perspectiva mecánica o analizada por el área de mantenimiento, se consideran primero las averías o paros fortuitos de la maquinaria, y luego los tiempos perdidos en la preparación o cambios de herramienta de la línea de producción necesarias para fabricar el producto, donde la solución utilizada por muchas empresas, pero a la vez la menos efectiva, es la fabricación de grandes lotes para generar inventario de reserva y por prevención a eventualidades en la operación, sin embargo, el uso de grandes inventarios, convierte el proceso de fabricación y comercialización desde la parte logística, en un proceso ineficiente o que puede afectar la rentabilidad de las compañías, lo cual ha sido demostrado por el método Just in Time. Para cada línea de producción en particular existen procedimientos de preparación diversos y amplios en su modo de ejecución junto a las herramientas utilizadas, sin embargo, desde un punto de vista estratégicos todo puede ser visto desde una misma estructura, la cual plantea la metodología en cuatro etapas (la primera etapa es preliminar).

6.1.1 Etapas de la metodología

6.1.1.1 Etapa preliminar. Observar y medir.

En esta etapa se realiza el análisis previo del proceso, donde se realiza una toma de datos en términos de tiempo, identificación de operaciones en el proceso y todas las implicaciones que se llevan a cabo para realizar el cambio de herramientas, con el fin de diferenciar aquellas donde hay un foco de consumo de tiempo y donde la operación podría ser hecha sin necesidad de tener la línea de producción detenida.

Pasos	Operación	Proporción de tiempo
1	Preparación, ajustes antes del proceso y chequeo de materia prima, dispositivos, herramientas, entre otros.	30%
2	Montaje y desmontaje de los dispositivos.	5%
3	Mediciones, configuraciones y calibraciones.	15%
4	Registro y ajustes	50%

Tabla 2. Sistema de producción Toyota desde la vista de ingeniería. Shigeo Shingo.

Por la exclusividad de cada proceso de producción, en este punto es importante identificar los elementos de preparación, de modo que cada operación pueda ser cuantificada para luego clasificar si esto es una actividad interna o externa, por lo cual se deben registrar los tiempos, conocer las causas y la variabilidad del proceso, dialogar con los operarios y personal para ampliar la información técnica así como su experiencia durante la ejecución, registrar lo obtenido de forma organizada y cuantificable.

6.1.1.2 Etapa 1. Separar operaciones internas de las externas.

Esta etapa es primordial para el éxito de la aplicación de la metodología SMED, dado que implica la clasificación de las operaciones en dos categorías: interna y externa, donde corresponden a aquellas actividades que requieren el total detenimiento de la línea de producción y aquellas que no, respectivamente. Se considera particularmente como operaciones internas aquellas que conllevan el montaje y desmontaje de algún componente o repuesto de la propia máquina, ya que

en funcionamiento representa un riesgo físico para quién realice el movimiento, al igual que los diferentes ajustes que se deben dar al sistema para su correcto funcionamiento.

Así mismo, las actividades externas son aquellas necesarias para ejecutar el cambio de herramientas, pero son indiferentes al detenimiento de los equipos, como la preparación de los repuestos organizados para ejecutar el desmontaje y reemplazo de piezas, acceso y organización de las herramientas para el personal mecánico realizar las operaciones, entre otras operaciones que van desde la logística y organización del procedimiento donde se encuentran muchos tiempos muertos por el acceso desordenado a los elementos necesarios para realizar las operaciones. A partir de esto, se deben considerar los elementos y las observaciones relevantes en la revisión que se realicen en la(s) máquina(s), por ello se deben acatar los siguientes elementos.

Lista de comprobación: Es un registro de todas las actividades del proceso donde se distinguen por su nombre, especificación de lo realizado, herramientas y cantidades utilizados, igualmente si corresponde al caso, calibraciones de ajuste y precisión necesarias para cumplir con la operación. Muchas veces esto lo guía un estándar de operación establecido por la empresa o por manual de máquina.

Comprobaciones funcionales: Una vez conocidos las herramientas y repuestos o dispositivos con su respectiva ubicación, se debe garantizar que su estado sea el óptimo para ser utilizados de una forma segura por el personal encargado de las actividades, y que esto no incurrirá en tiempos muertos por reparaciones adicionales o requerimiento de compra por artículos no disponibles en planta.

Transporte de materiales: Se busca que la movilización de los elementos sea parte de una actividad externa, es decir que se debe disponer del medio para realizarlo, así como del personal que lo ejecute sin que esto interfiera en la producción de la máquina.

6.1.1.3 Etapa 2. Convertir operaciones internas en externas.

Esta etapa se debe realizar en cuanto sea posible, sobre todo se ha encontrado aplicación en aquellas operaciones donde se debe garantizar una misma posición con respecto a otras, es decir, reducir

todos estos ajustes que implica cada cambio de herramienta, sino generar estrategias para fijar dichas posiciones sin importar los desmontajes, en diferentes casos se utilizan guías, calzos o elementos de sujeción que permiten ahorrar ese tiempo. Igualmente, la premisa para realizar esta etapa es que los ajustes óptimos, son aquellos que en realidad no deben realizarse, por lo cual se busca optimizar procesos que son repetitivos los cuales podrían fijarse, considerando que los ajustes ocupan alrededor del 50% de todo el proceso de cambio de herramientas como se mostró anteriormente y en algunos casos llega a ocupar hasta el 70%, por lo cual es un punto crítico dentro de las operaciones a realizar.

6.1.1.4 Etapa 3. Mejoramiento de actividades internas y externas.

Aquí el objetivo es encontrar una nueva reducción de los tiempos a partir de la mejora de las actividades que se establecieron, clasificaron, se mejoraron y se ordenaron previamente, de tal modo que aquellas operaciones elementales tanto internas como externas se encuentren en la realización más estratégica desde la disposición de la herramienta, transporte de esta, hasta la intervención en la máquina. Algunas de las mejoras aplicadas son:

- Optimización de almacenamiento y orden de las piezas como repuestos, piezas de máquina y herramienta necesaria para ejecutar las operaciones, eso permite trabajar de una forma sistemática.
- Operaciones en paralelo, es decir el uso de al menos dos personas para la ejecución de actividades, ya que, si la línea de producción posee una longitud considerable, el desplazamiento para obtener repuestos o movilizar piezas, puede incurrir en otras pérdidas, de modo que, si se posee una asistencia, se evitan esperas innecesarias, siempre operando ordenadamente e informando tanto al compañero como al superior encargado del cambio de herramientas, para que sea una labor efectiva. Este trabajo en paralelo no necesariamente se refiere a repartir las actividades internas del cambio ya que esto traduciría una ineficiencia en la metodología, va dirigido hacia asistencia en tareas simples que no requiere de personal especializado en la maquinaria, por ello se requiere a un paralelo donde el operario de cambio ejecuta actividades internas mientras el otro realiza actividades externas para disminuir tiempos globales.

- Cambio de elementos de sujeción o anclajes, por ejemplo, en elementos roscados ya que por número de hilos eso implica que se debe llevar una rosca hasta el último para realmente garantizar la sujeción del elemento, mientras existen otras alternativas en el mercado que están enfocados en un solo paso sin repeticiones para cumplir la misma función. Estas mejoras se realizan de la mano del área de compras o insumos de la empresa junto al área de producción/mantenimiento que esté a la vanguardia sobre aplicaciones aptas para la maquinaria utilizada en la compañía correspondiente. [7]

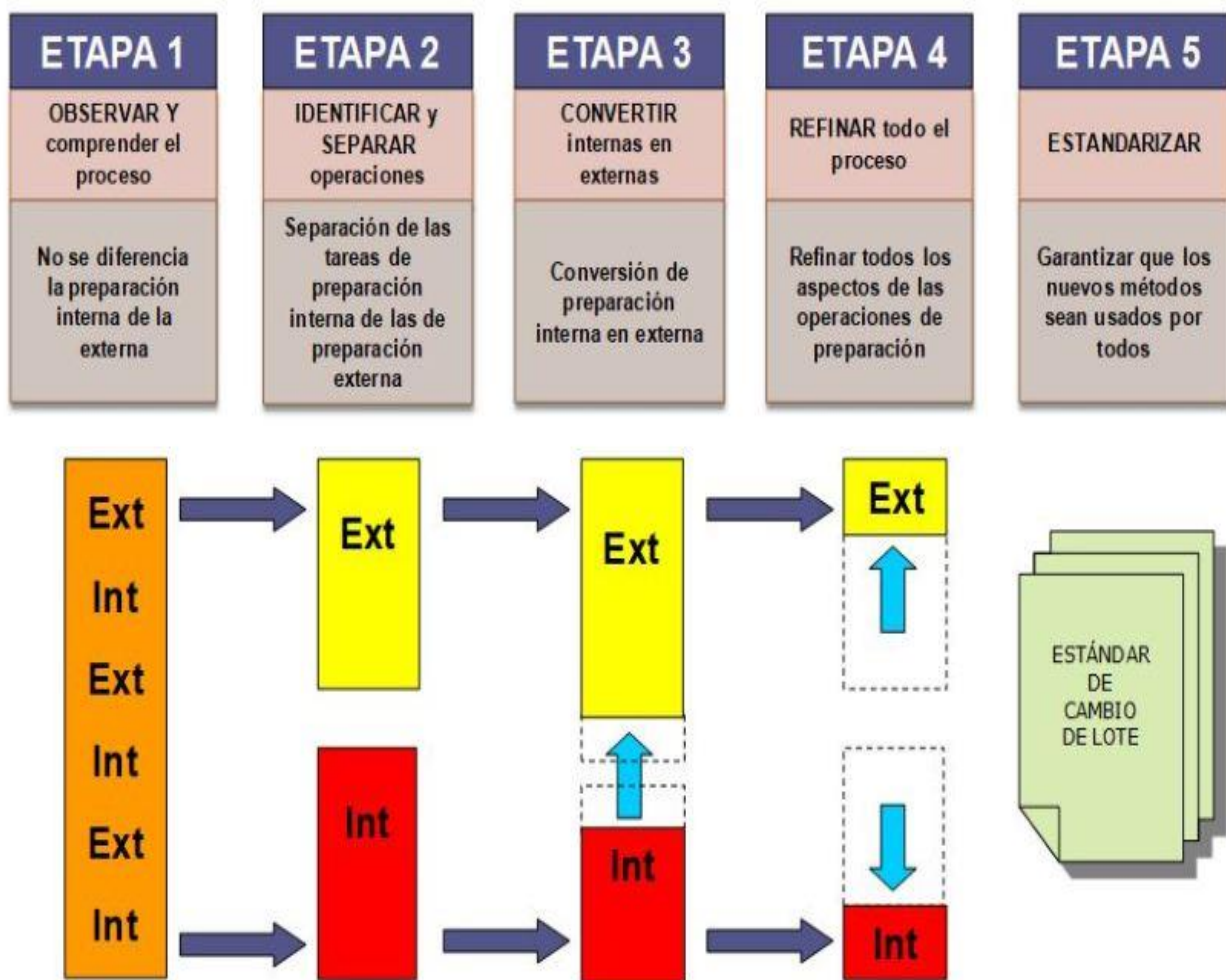


Figura 3. Etapas de la metodología SMED. Tomado de CDI Lean - Técnica SMED.

6.1.1.5 Análisis para la metodología

En la metodología SMED (Single Minute Exchange of Die), de forma general, y acorde a lo explicado anteriormente, se pueden llevar a cabo varios tipos de análisis para identificar y mejorar los tiempos de cambio de herramientas o referencias en un proceso de producción. Algunos de los análisis comunes son:

- **Análisis de tiempos:** Consiste en medir y registrar los tiempos que se emplean en cada etapa del cambio de herramientas o lotes de producción. Esto permite identificar las actividades que consumen más tiempo y son candidatas para reducirse.
- **Análisis de cuellos de botella:** Identificar las áreas o procesos que generan mayores demoras en el cambio de herramientas o referencias. Enfocar esfuerzos en estas áreas puede tener un impacto significativo en la reducción de los tiempos de cambio.
- **Análisis de herramientas y accesorios:** Evaluar las herramientas utilizadas en el proceso de cambio y buscar alternativas que faciliten y agilicen el proceso.
- **Análisis de mejoras rápidas y graduales:** Identificar oportunidades de mejora que puedan implementarse rápidamente con poco costo y aquellas que requieran inversiones graduales para una mejora continua a largo plazo.

Todos estos análisis se realizan con el objetivo de identificar oportunidades de mejora y aplicar soluciones efectivas para reducir los tiempos de cambio y aumentar la eficiencia en la producción.

6.1.1.6 Herramientas y técnicas utilizadas en la metodología

En la metodología SMED, se utilizan diversas herramientas y técnicas para lograr una reducción significativa de los tiempos de cambio de herramientas o referencias. Algunas de las principales son:

- **Lista de verificación para la recolección de datos:** Se utiliza para identificar y registrar todos los pasos involucrados en el cambio de referencia y sus respectivos tiempos.
- **Gráfico de flujo de proceso:** Es una representación visual del proceso de cambio de referencia que permite identificar las etapas y las relaciones entre las actividades.
- **Clasificación de actividades internas y externas:** Se clasifican las actividades que requieren que la máquina esté detenida (actividades internas) y las que pueden realizarse mientras la

máquina está en funcionamiento (actividades externas). Identificar y clasificar estas actividades ayuda a priorizar las mejoras y reducir los tiempos de parada.

- **Análisis de montaje interno y externo:** Se busca reducir las actividades que requieren la máquina detenida, convirtiéndolas en actividades que pueden realizarse mientras la máquina sigue en funcionamiento. Reducir el tiempo de montaje y, en la medida de lo posible, convertir tareas internas en externas, es uno de los principales objetivos de la metodología.
- **Estandarización:** Se establecen procedimientos estandarizados para el cambio de referencia con el fin de garantizar una ejecución rápida y eficiente.
- **Diseño de dispositivos y herramientas rápidas:** Se buscan o diseñan dispositivos y herramientas que faciliten el cambio de referencia y agilicen el proceso.
- **Trabajo en equipo y capacitación:** Se fomenta la colaboración y el entrenamiento del personal involucrado en el proceso de cambio para lograr una ejecución más rápida y efectiva; así como la eficiencia de los equipos utilizados.
- **Mejoras graduales:** Se implementan cambios rápidos y de bajo costo primero, seguidos de mejoras graduales para lograr una mejora continua en los tiempos de cambio.

El uso de estas herramientas y técnicas permite identificar áreas de mejora y aplicar soluciones efectivas para reducir los tiempos de cambio y aumentar la eficiencia en la producción.

7. ANTECEDENTES

Se mencionan aquí algunos casos de éxito encontrados donde se implementó exitosamente la metodología SMED para reducir los tiempos de cambio de herramientas o lotes de producción. Estos casos incluyen diferentes industrias de fabricación, sin embargo, el primer caso fue enfocado en una empresa fabricante de envases metálicos para aplicaciones de aerosol.

- **Crown Cork:** Es una empresa ubicada en Guatemala la cual aplicó la metodología para la línea de producción de envases para aerosol, quienes se vieron en dicha necesidad por el cambio en la dinámica de los pedidos respecto a sus clientes, teniendo en cuenta que el trabajo fue realizado en el año 2005 y dos años atrás las producciones se realizaban en grandes volúmenes de una misma referencia, sin embargo esto se fue transformando hasta pedidos de bajas cantidades debido a la diversidad de ofertas en el mercado y las exigencias del consumidor final que llevaban a generar cambios en los lotes. Por otro lado, el departamento de ensamble realiza alrededor de 4 cambios de altura por línea, una por cada diámetro de envase que se fabrica, de modo que se realizan un total de 12 cambios al mes ya que se manejan 3 líneas de fabricación para este tipo de envase, cuyo objetivo era reducir los tiempos de cambio de altura (es decir, el tiempo de cambio de la herramienta para fabricar una altura diferente).

Antes de aplicar el SMED a las líneas de producción, su tiempo promedio para cambio de altura era de 60 min, con un máximo de ejecución de 50 min y una vez finalizada la metodología, se logró ejecutar en 20 min, lo cual es una reducción aproximada del 73.3% que es una mejora realmente considerable. [8]

- **Colombina del Cauca S.A:** Esta empresa, perteneciente al Grupo Colombina S.A, tiene como objetivo ser más competitiva tanto a nivel nacional como internacional. Para lograrlo, se enfocaron en la mejora continua en todas sus filiales e instalaciones. Durante el año 2008, el área de productividad y costos, en colaboración con la gerencia de manufactura del grupo, llevó a cabo un estudio para identificar las actividades más ineficientes durante la producción, lo que resultó en un total de 5647 horas de tiempos muertos en ese año. Después de analizar diversas líneas de producción, se encontró que la línea número seis (6), dedicada a la fabricación de galletas dulces, era la más crítica debido a esos tiempos ineficientes.

Para mejorar la eficiencia de esta línea, se implementó un nuevo procedimiento para el cambio de lote de referencia, lo que permitió aumentar el indicador interno llamado eficiencia global de planta (EGP) en 5 puntos, alcanzando el 65%. Se logró reducir el tiempo de envoltura de 236 a 122 minutos, generando un ahorro del 51.6%. La capacitación del personal y la divulgación interna del proceso de mejora fueron fundamentales para el éxito del proyecto y para poder replicarlo en futuras líneas de producción. [7]

- **Genfar S.A:** Esta empresa farmacéutica colombiana, fundada en 1967 y líder a nivel nacional, se dedica a la producción de fármacos humanos y veterinarios. Para mejorar su rendimiento y productividad, la compañía ha implementado tecnologías de vanguardia y capacitaciones de talento humano. Reconociendo la importancia de reducir los tiempos muertos, Genfar S.A. optó por aplicar la metodología SMED en el área de producción.

En el año 2013, se enfocaron en la metodología 5S, que ya estaba implementada en la empresa, y analizaron las actividades externas que tomaban considerable tiempo en las líneas de producción 921-1, 921-2 y 921-3. Identificaron tareas como el transporte de útiles, despeje de zonas de almacenamiento y manejo de retales, y realizaron una actualización del estándar interno para cada una de estas líneas. Los resultados fueron impresionantes, logrando una reducción del 51% en el tiempo de cambio en la línea Noack 921-1, pasando de seis horas y treinta minutos aproximadamente (6:30:00) a tan solo tres horas diez minutos y treinta segundos (03:10:31). También obtuvieron reducciones similares en las otras dos líneas, lo que representó un impacto significativo en la mejora de los tiempos de cambio durante todo el año. [9]

8. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el estudio es importante conocer cómo se realiza el proceso de fabricación de estos envases y que otras variables están involucradas antes de llevar a cabo una primera toma de datos cuantitativa, inicialmente cabe aclarar que, como esta línea de ensamble para envases metálicos, existen otras más, en total son seis: Línea 1, Línea 4, Línea 3, Línea 9, Línea 2A y Línea 2B. Recalcando que la necesidad por atacar la problemática en la Línea 9 es por su alto flujo de producción y pedidos, ya que cada línea está diseñada para fabricar una serie diferente de diámetros y altura, para aplicaciones alimenticias o industriales, mientras que la Línea 2A y 2B están diseñadas únicamente para la fabricación de envases para aerosol, esto hablando del contexto actual, además abarcando solo estas líneas de ensamble, en la planta existen otras más y tanto su ubicación como su diseño ha sido modificado durante los años.

Por la propia composición de la línea de ensamble, se realiza la fabricación del envase, iniciando por el corte de lámina de formato estándar en la cizalla donde se separa la cantidad de cuerpos según la referencia, luego se realiza el pre curvado, curvado e unión del traslapo en la soldadora, se aplica resane en el cordón de soldadura para evitar oxidación y contaminación del producto a envasar (en especial si es de grado alimenticio o algún producto que podría contaminarse por alguna reacción química por el traslapo soldado, mas no toda referencia posee resane), posterior a ello se realiza su curado en el horno, en los módulos de cierre se realiza el acople de accesorios (anillo y fondo), se prueban a presión en el tester para descartar fugas y finalmente se apilan ordenadamente en el paletizador para ser distribuidos. En la siguiente figura se muestran el diagrama de flujo de esta operación.

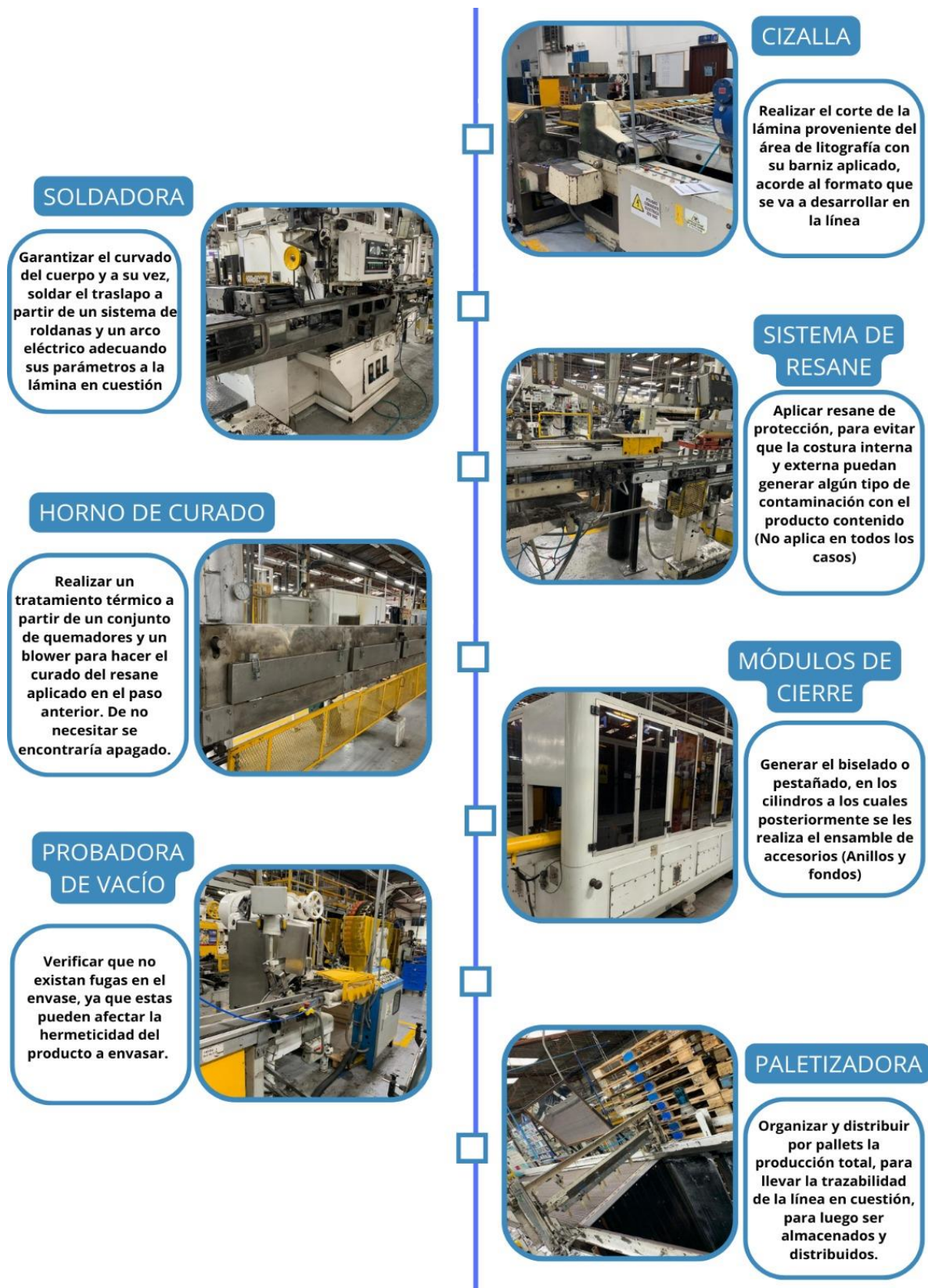


Figura 4. Flujograma de producción línea de ensamble 9.

Durante el proceso de fabricación, en el factor humano se ubican cuatro operarios, uno que es el encargado de vigilar el proceso de corte de la lámina en la cizalla y a su vez suministrar los cuerpos apilados al alimentador de la soldadora, otro que vigila la calidad de los envases en el proceso de ensamble con los accesorios durante su paso a los módulos y finalmente otro que vigila el correcto empaque en el paletizador, de forma que estén correctamente distribuidos en la superficie de cartón antes de ser cubiertos con papel stretch.

A la par se encuentra personal del área de mantenimiento a disposición de alguna novedad durante el proceso que requiera algún ajuste o calibración para continuar la producción. Por otro lado, estas máquinas poseen diferentes sensores que generan alertas o paros cuando alguna de las variables tanto del proceso como de chequeo en los envases se encuentra fuera de especificación, no permite que se continúe con el resto o genera un registro por el cual se hace saber al área de producción acerca de posibles productos defectuosos los cuales no pueden ser entregados a los clientes.

MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Tiempo de (min)	9840	3436	3476	3441	1747	1607	3064	4480	2858	1644	2770	2730	3424
Tiempo estándar	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840
Exceso tiempo (N veces x Tiempo estándar)	11	3	3	3	1	1	3	4	2	1	2	2	3

Tabla 3. Tiempos reales vs estándar mes a mes año 2022.

En particular, por cada cambio de referencia, se encuentra un exceso de al menos el doble de tiempo establecido por el estándar, que revisando en detalle el mes a mes de los cambios realizados durante el año 2022, se perdieron alrededor 32.760 min, es decir 546 horas las cuales representan una cantidad significativa y alarmante sobre la cual pudo verse afectada la producción de diversas maneras por la ocupación no presupuestada que tomaron estos cambios.

Para plantear la estrategia de trabajo y de mejora, se debe realizar en sitio una colecta de datos para revisar cómo es el estado actual de un cambio de referencia en la línea 9, donde se separa por actividades individuales, lo que requiere consecutivamente hasta finalizar, marcando casillas cada una equivalente a un periodo de 5 minutos. Como se observa en la siguiente tabla, todo ello teniendo en cuenta que el cambio se realiza en el orden que se ejecuta el proceso de fabricación,

ya que en lo posible se realizan chequeos para garantizar que los ajustes y cambios fueron los adecuados, evitando también que haya alguna falla de un componente interno antes de continuar con el cambio.

Es importante explicar que aquellas casillas de color amarillo, son las que consumieron tiempo operativo del personal para ejecutar la actividad correspondiente, mientras que aquellas de color gris son los espacios destinados por la compañía para la alimentación del personal, por lo cual son periodos de tiempo que no se incluyen en el proceso, registrando un tiempo total de 720 minutos, sin embargo aún falta contabilizar el tiempo de cambio de formato en la cizalla, en particular esta se tomó aparte debido a que este equipo no posee algún acople directo a la línea de ensamble como tal, ya que en su actividad, es un operario quien se encarga de trasladar el apile de cuerpos cortados hacia el alimentador o des apilador de la soldadora.

Se inició con la cizalla el día anterior, dando un total de 855 minutos en este cambio, siendo particularmente menor que tiempos registrados durante el año 2022, sin embargo, coherentes con una serie de capacitaciones en los equipos que se realizaron desde el área de mantenimiento al personal encargado de manipular todas las líneas de ensamble, con el fin de afinar capacidad y habilidades en aquellos que no contaban con gran trazabilidad en la compañía pero a su vez, acrecentar el conocimiento adquirido por los demás que contaban con mayor empirismo en el área y conocían más de los parámetros y ejecuciones efectivas de los estándares disponibles en ese momento para la operación.

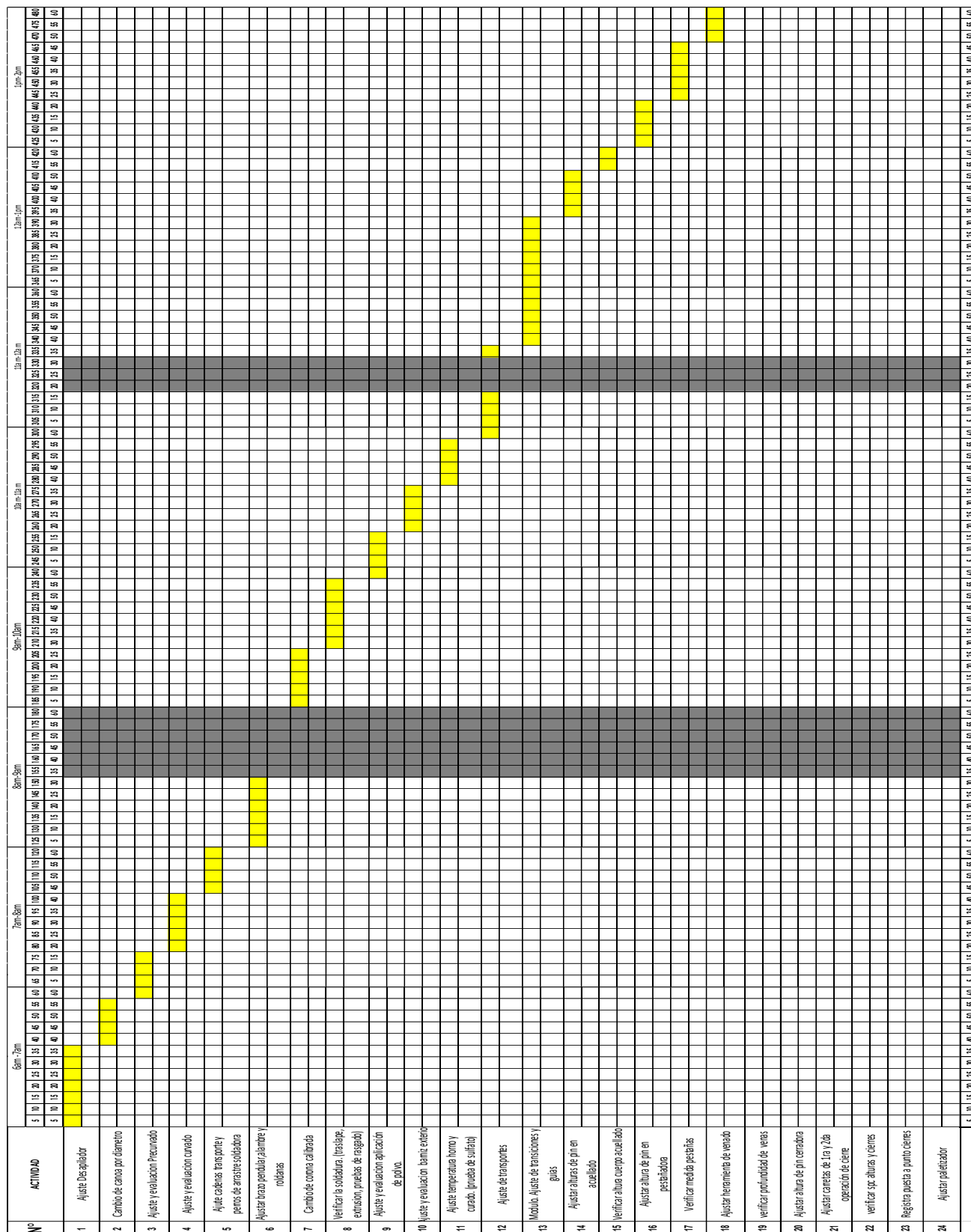


Tabla 4. Cronograma de actividades del cambio de referencia antes de aplicar SMED.

N°	ACTIVIDAD	20m-30m		30m-40m		40m-50m		50m-60m		60m-70m		70m-80m		80m-90m		90m-100m	
		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
1	Ajuste Desplazador																
2	Cambio de canca																
3	Ajuste y evaluación Precumado																
4	Ajuste y evaluación convido																
5	Ajuste cadenas transporte soldadora																
6	Ajustar brazo percutir alambre y enlases																
7	Cambio de corona calibrada																
8	Verificar la soldadura, (ensaje, extrusión, pruebas de rasgado)																
9	Ajuste y evaluación aplicación de polvo.																
10	Ajuste y evaluación barmis electrico																
11	Ajuste temperatura horno y conado. (prueba de sulfato)																
12	Ajuste de transportes																
13	Modulo. Ajuste de transiciones y guías																
14	Ajustar altura de pin en acuelido																
15	Verificar altura cuerpo acuelido																
16	Ajustar altura de pin en pesabarras																
17	Verificar medida pestañas																
18	Ajuste herramienta de venado																
19	Verificar profundidad de veas																
20	Ajustar altura de pin ceratona																
21	Ajustar cerchas de tra y 2da operación de cere																
22	Verificar spe alturas y cierras																
23	Registra puesta a punto cierras																
24	Ajustar perletizador																

Tabla 5. Cronograma de actividades del cambio de referencia antes de aplicar SMED.

los elementos, como el acceso a estos con una distinción que permita al personal realizar la actividad sin necesidad de estar verificando que si cuenta con los elementos necesarios para culminar satisfactoriamente.



Figura 5. Estado del gabinete de la línea antes de aplicar SMED.

De allí que surge la necesidad inicial de realizar un análisis desde la estrategia en ejecución y un pensamiento global sobre aquellos factores que están relacionados en el por qué se presenta la problemática, dado que es imperativo conocer las causas de esta situación para plantear un plan de acción que va de la mano con una recolección de datos que se realiza posteriormente. Para ello se genera un diagrama causa-efecto, conocido también como diagrama de Ishikawa cuyo fin es crear y clasificar ideas que apuntan a las causas de un problema, gráficamente como se ilustra en este caso. Esto junto al personal del área de mantenimiento quienes aportan desde su conocimiento algunas situaciones en particular que se han convertido en un factor común pero negativo durante los cambios de referencia.

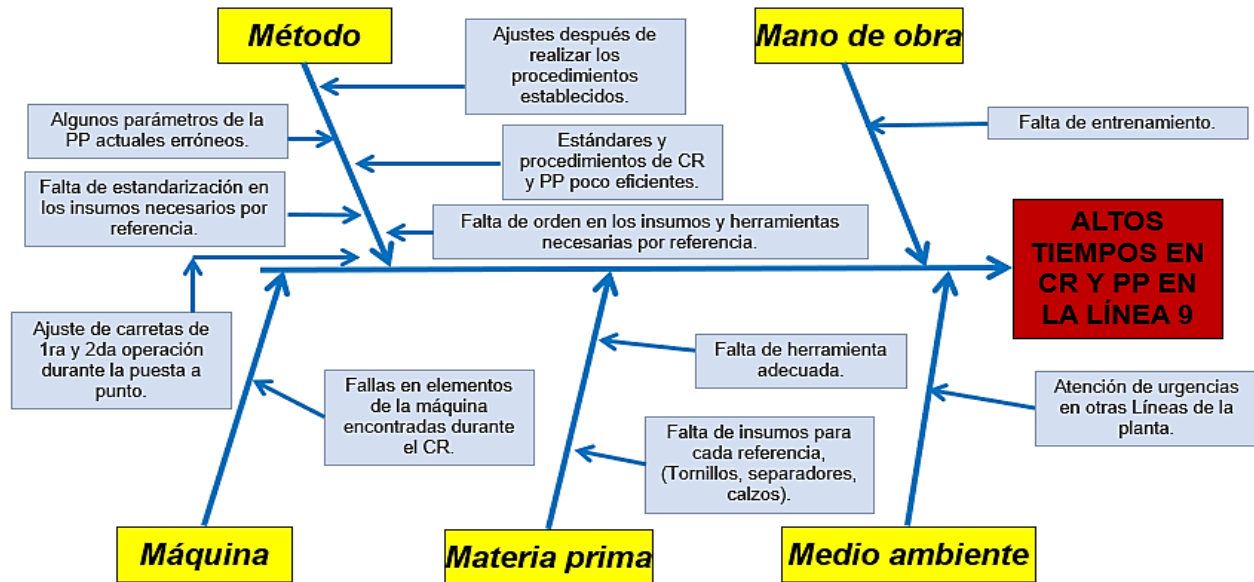


Figura 6. Diagrama causa-efecto de la problemática de altos tiempos en cambios de referencia.

A partir de este análisis es importante tener en cuenta diferentes factores para realizar los cambios referencia, que van desde el factor humano, donde es vital que todos aquellos que puedan verse implicados en el procedimiento estén capacitados para realizar el montaje y desmontaje de las piezas, así como ejecutar las calibraciones oportunas en la máquina, lo cual de la mano de poder enfocarse atentamente la situación, ya que en otras ocasiones se presenta la necesidad de atender otras líneas de ensamble que pueden presentar novedad en la producción, lo cual necesita de una acción inmediata con el fin de corregir una posible avería o desajuste de parámetros de operación. Igualmente, el tema de poseer los insumos y la herramienta tanto organizada como completa, de modo que el personal pueda acceder a ella para usarla en la actividad concreta según el estándar describa la ejecución de esta. Finalmente poseer actualizados tanto los parámetros de ajustes para arranque de línea, normalmente llamada la puesta a punto (PP) de la máquina, operación, entre otros.

Es desde este punto, donde es importante relacionar aquellos tiempos durante el cambio de referencia que consumen una mayor cantidad de tiempo para generar una acción por cada situación particular que se encuentra a lo largo de su desarrollo, por lo cual se genera el siguiente diagrama, que permite ilustrar aquellas actividades que por su proporción de tiempo consumido, son un foco de atención para el área de mantenimiento, con lo que se espera reducir los tiempos muertos para aumentar el tiempo disponible de la línea para producir envases.

N°	EQUIPO	ACTIVIDAD	TIEMPO (min)
1	CIZALLA	Ajuste stacker de 1ra vuelta	30
2		Verificación de cuchillas y separadores 1ra vuelta	30
3		Ajuste stacker de 2da vuelta	30
4		Verificación de cuchillas y separadores 2da vuelta	30
5		Verificación medidas de corte y rebaba	20
6	SOLDADORA	Ajuste Desapilador	35
7		Cambio de canoa por diametro	20
8		Ajuste y evaluacion Precurvado	20
9		Ajuste y evaluacion curvado	25
10		Ajute cadenas transporte soldadora	20
11		Ajustar brazo pendular,alambre y roldanas	30
12		Cambio de corona calibrada	25
13		Verificar la soldadura. (traslape, extrusion, pruebas de rasgado)	30
14	RESANE Y HORNO	Ajuste y evaluacion aplicación de polvo.	20
15		Ajuste y evaluacion barniz exterior	20
16		Ajuste temperatura horno y curado. (prueba de sulfato)	20
17		Ajuste de transportes	25
18	MÓDULO	Modulo. Ajuste de transiciones y guías	55
19		Ajustar alturas de pin en acuellado	20
20		Verificar altura cuerpo acuellado	10
21		Ajustar altura de pin en pestañadora	20
22		Verificar medida pestañas	25
23		Ajustar herramienta de venado	30
24		verificar profundidad de venas	10
25		Ajustar altura de pin cerradora	30
26		Ajustar carretas de 1ra y 2da operación de cierre	50
27		verificar spc alturas y cierres	50
28		Registra puesta a punto cierres	50
29	PALETIZADOR	Ajustar paletizador	75
		Total tiempo cambio línea	855

Tabla 7. Tiempo de actividades para cambio de referencia, estado inicial

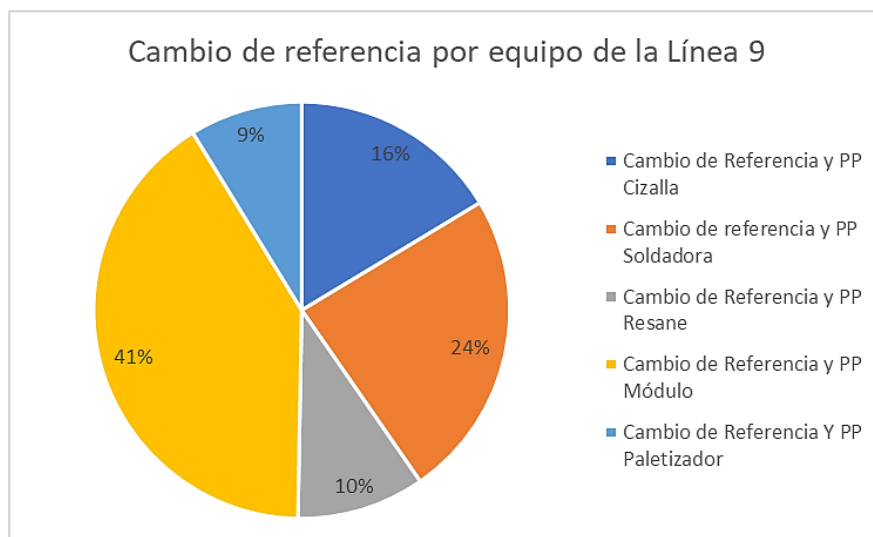


Figura 7. Diagrama circular por equipo en porcentaje de tiempo

Al observar esta gráfica circular es notorio que casi la mitad del tiempo del cambio de referencia es demandado por el módulo de cierre, lo que quiere decir que este es uno de los puntos a analizar, ya que al generar una disminución considerable en esta parte del proceso, representaría así mismo un ahorro global importante. Por esta razón, se ilustra a detalle más de los tiempos implicados únicamente en este equipo, con el fin de encontrar más datos que puedan conducir a una estrategia efectiva.

N°	ACTIVIDAD	TIEMPO (min)	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO
1	Modulo. Ajuste de transiciones y guías	55	16%	16%
2	Ajustar carretas de 1ra y 2da operación de cierre	50	14%	30%
3	verificar spc alturas y cierres	50	14%	44%
4	Registra puesta a punto cierres	50	14%	59%
5	Ajustar herramienta de venado	30	9%	67%
6	Ajustar altura de pin cerradora	30	9%	76%
7	Verificar medida pestañas	25	7%	83%
8	Ajustar alturas de pin en acuellado	20	6%	89%
9	Ajustar altura de pin en pestañadora	20	6%	94%
10	Verificar altura cuerpo acuellado	10	3%	97%
11	verificar profundidad de venas	10	3%	100%
	TOTAL CAMBIO MODULO	350	100%	

Tabla 8. Tiempo por actividades de CR y PP en el módulo, estado inicial.

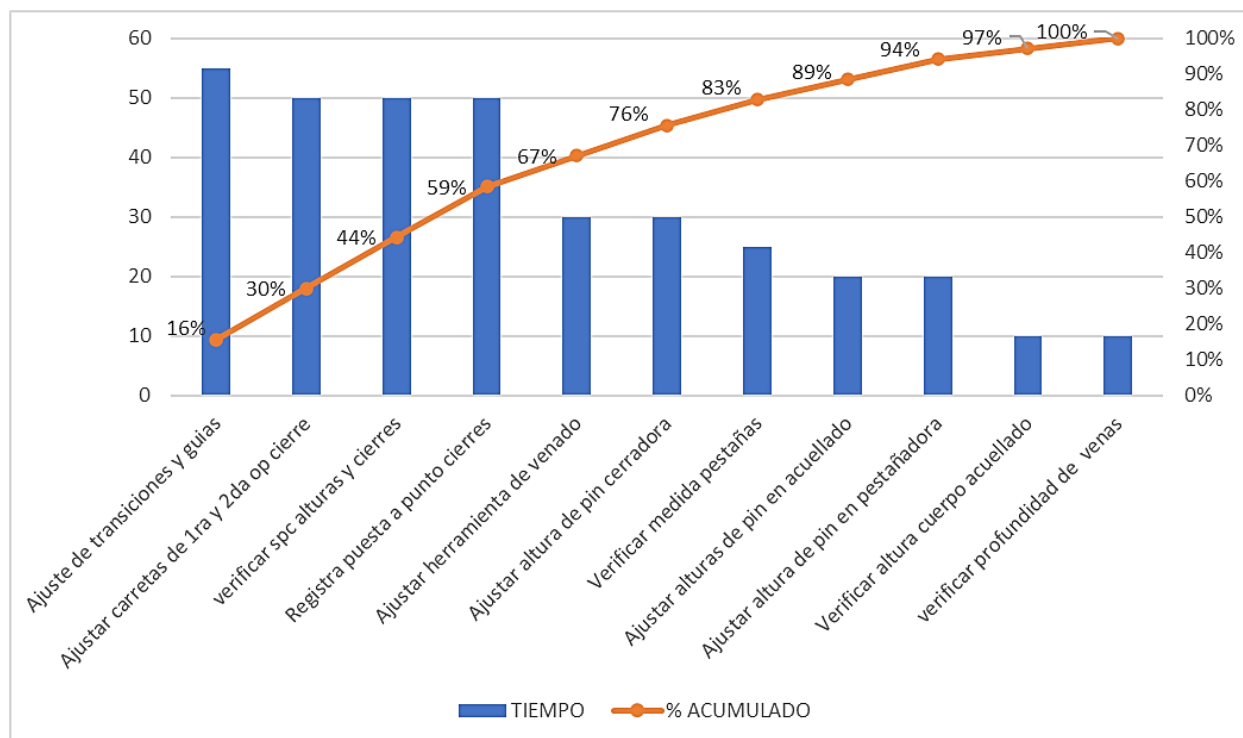


Figura 8. Diagrama de barras de actividades en el módulo, con porcentaje acumulativo

Con estas instancias, se recurre al área de mantenimiento que es el apoyo principal del estudio para proponer algunas soluciones y observar entre las actividades que actualmente son todas internas, podrían convertirse en externas, junto a su pericia, experiencia, además de capacitación de los equipos, se puede generar una observación detenida de las implicaciones mecánicas (sea de acople entre componentes, sistemas de transmisión o tornillería, por ejemplo), las cuales pueden ser modificadas, de modo que algunas de estas, puedan ser parcial o totalmente removidas de actividad interna a externa. Con este paso empieza una fase de mejora en los tiempos de cambio de referencia, depurando tiempos que son útiles para la producción. Es allí donde es clave referirse a otros trabajos previamente ejecutados o estudios de referencia en líneas de ensamble de envases metálicos, para retomar algunas sugerencias de estos, aparte de los aportados por un texto de apoyo disponible en la empresa, llamado Una revolución en la producción: el sistema SMED, por Shigeo Shingo, el exponente y desarrollador de la propia metodología, del cual se apoyará el equipo para tomar mejoras.

En medio de este proceso se encontró que al realizar la verificación de alturas y cierres, sin realizar necesariamente ajustes de las carretas de 1ra y 2da operación, ya que en estas se realizan ajustes en el proceso de la puesta a punto de máquina, de modo que si al revisar se encuentra dentro de los

parámetros y el envase en esta parte se encuentra dentro de especificación al inspeccionarlo, este se encuentra en funcionalidad, por lo cual se toma la decisión de trasladarlo a una actividad parcialmente externa dentro de plan de mantenimiento la cual tendrá una frecuencia cada tres (3) meses o antes si por alguna eventualidad se encuentran los cierres del envase por fuera de especificación, lo que se presupuesta una disminución de 35 minutos, ya que la actividad no es totalmente removida, sino que se debe mantener dentro de esta la inspección de parámetros, mas no es obligatorio ejecutar algún tipo de ajuste dentro del periodo de los tres meses.

Así mismo, al retomar el diagrama causa-efecto más la inspección visual durante el cambio de referencia, la organización del gabinete es un tema crucial para que el personal no deba consumir más tiempo del necesario buscando los componentes que debe usar en la actividad específica, además de verificar si estos realmente son los correspondientes a la referencia, por ello se realiza un ordenamiento completo de las partes con una marcación posterior para distinguir a que tipo de referencia corresponde si no existe un reconocimiento visual rápido por la geometría de la pieza o se busca evitar la verificación con toma de medidas al usar el calibrador, además de un inventario de los componentes necesarios para cada caso de cambio de diámetro entre lotes.



Figura 9. Estado del gabinete de la línea después de aplicar SMED.

Junto a ello se adjuntan cuatro tipos de inventarios necesarios para realizar el cambio completo en el módulo según el diámetro, este aparte del tiempo inicial requerido, es uno que ocupa la mayor

cantidad de partes del gabinete por la complejidad del sistema por la parte del proceso de fabricación del envase, que acarrea.

Se inicia el inventario con los elementos necesarios para realizar el cambio de referencia a diámetro 300mm.

LISTA DE CHEQUEO CAMBIO DE REFERENCIA A 300mm				
ITEM	HERRAMIENTA	DESCRIPCION	ELEMENTO DE SUJECION	
			REFERENCIA	CANTIDAD
1	Sin Fin	Para todas las referencias		
2	Transferencia 1	2 estrellas sin separador	Tornillo M8*30-1,25	3
3	Herramienta Neck	8 estaciones		
4	Estrella central Neck	Estrella de 8 mm todas las referencias		
5	Guia Salida Neck	Guia de 8,5 mm y calzo de 27,5	Perno M8*45-1,25	2
6	Transferencia 2	2 Estrellas sin separador	Tornillo M8*30-1,25	3
7	Herramienta bisel	8 superiores y 8 inferiores		
8	Estrella central bisel	Estrella de 8 mm todas las referencias		
9	Guia Salida bisel	Guia de 2,5 mm y calzo de 13 mm	Perno M8*25-1,25	2
10	Transferencia 3	2 estrellas sin separador	Tornillo M8*30-1,25	3
11	Guia entrada venadora	Guia elevada #2		
12	Guia lateral inferior	Guia inferior de 13,5 mm para todas las referencias	Tornillo M10*25-1,25	2
13	Estrella central venadora	1 para todas las referencias		
14	Transferencia 4	1 Estrella guia de tapa fija		
15	Moldes ϕ 300	8		
16	Carreta de 1ra operación	8		
17	Carreta de 2da operación	8		
18	Transferencia 5	2 estrellas con separador	Tornillo M8*40-1,25	3
19	Guia de Salida	Guia de salida #2	Tornillo M10*25-1,25	2

Tabla 9. Lista de chequeo para cambio a diámetro 300mm

Perno M8*25-1,25	2
Tornillo M8*30-1,25	9
Tornillo M8*40-1,25	3
Perno M8*45-1,25	2
Tornillo M10*25-1,25	4

Tabla 10. Lista de chequeo tornillería para cambio a diámetro 300mm

Se prosigue con la lista de chequeo para el diámetro 401mm, estos dos principalmente ya que son las referencias con mayor cantidad de fabricación a lo largo de los pedidos del año 2022 por el área de producción y ventas.

LISTA DE CHEQUEO CAMBIO DE REFERENCIA A 401				
ITEM	HERRAMIENTA	DESCRIPCION	ELEMENTO DE SUJECION	
			REFERENCIA	CANTIDAD
1	Sin Fin	Para todas las referencias		
2	Transferencia 1	2 estrellas sin separador	Tornillo M8*30-1,25	3
3	Herramienta Neck	8 estaciones		
4	Estrella central Neck	Estrella de 8 mm todas las referencias		
5	Guia Salida Neck	Guia de 8,5 mm y calzo de 27,5	Perno M8*45-1,25	2
6	Transferencia 2	2 Estrellas sin separador	Tornillo M8*30-1,25	3
7	Herramienta bisel	8 superiores y 8 inferiores		
8	Estrella central bisel	Estrella de 8 mm todas las referencias		
9	Guia Salida bisel	Guia de 2,5 mm y calzo de 38,5 mm	Perno M8*25-1,25	2
10	Transferencia 3	2 estrellas sin separador	Tornillo M8*30-1,25	3
11	Guia entrada venadora	Guia elevada #2		
12	Guia lateral inferior	Guia inferior de 13,5 mm para todas las referencias	Tornillo M10*25-1,25	2
13	Estrella central venadora	1 para todas las referencias		
14	Transferencia 4	1 Estrella guia de tapa fija		
15	Moldes ϕ 401	8		
16	Carreta de 1ra operación	8		
17	Carreta de 2da operación	8		
18	Transferencia 5	2 estrellas con separador	Tornillo M8*40-1,25	3
19	Guia de Salida	Guia de salida #2	Tornillo M10*25-1,25	2

Tabla 11. Lista de chequeo para cambio a diámetro 401mm

Perno M8*25-1,25	2
Tornillo M8*30-1,25	9
Tornillo M8*40-1,25	3
Perno M8*45-1,25	2
Tornillo M10*25-1,25	4

Tabla 12. Lista de chequeo tornillería para cambio a diámetro 401mm

Luego se procede con las dos referencias de menor fabricación, pero aun así importantes ya que si solo se genera disminución en dos de los cuatro cambios posibles, cuando estos sean requeridos, podrían anular el trabajo logrado con tardanzas excesivas en el proceso, de modo que no pueden ser omitidos dentro de un proceso de mejora, ya que este tiene un enfoque global para la línea de ensamble.

LISTA DE CHEQUEO CAMBIO DE REFERENCIA A 303				
ITEM	HERRAMIENTA	DESCRIPCION	ELEMENTO DE SUJECION	
			REFERENCIA	CANTIDAD
1	Sin Fin	Para todas las referencias		
2	Transferencia 1	2 estrellas sin separador	Tornillo M8*50-1,25	3
3	Herramienta Neck	8 estaciones		
4	Estrella central Neck	Estrella de 8 mm todas las referencias		
5	Guia Salida Neck	Guia de 8,5 mm y calzo de 27,5	Perno M8*45-1,25	2
6	Transferencia 2	2 Estrellas sin separador	Tornillo M8*50-1,25	3
7	Herramienta bisel	8 superiores y 8 inferiores		
8	Estrella central bisel	Estrella de 8 mm todas las referencias		
9	Guia Salida bisel	Guia de 8,5 mm y calzo de 38,5 mm	Perno M8*55-1,25	2
10	Transferencia 3	2 estrellas, con separador #3 de 47 mm	Tornillo M8*65-1,25	3
11	Guia entrada venadora	Guia elevada #1		
12	Guia lateral	Guia inferior calzo de 52 mm, guia superior	Tornillo M10*95-1,5	2
13	Herramienta Venado	Herramienta venado ext, calzos H=2 mm	Tornillo M10*75-1,5	3
14	Pilotos Venadores	8 H = 400		
15	Estrella central venadora	Estrella central, separador H:400 y platosuperior venado		
16	Transferencia 4	2 Estrelaas, separador # 4 H=30	Tornillo M8*50-1,25	3
17	Moldes ϕ 303	8		
18	Carreta de 1ra operación	8		
19	Carreta de 2da operación	8		
20	Transferencia 5	2 estrellas con separador #5 de 53,86 mm	Tornillo M8*72-1,25	3
21	Guia de Salida	Guia de salida #1		

Tabla 13. Lista de chequeo para cambio a diámetro 303mm

Perno M8*45-1,25	2
Tornillo M8*50-1,25	9
Perno M8*55-1,25	2
Tornillo M8*65-1,25	3
Tornillo M8*72-1,25	3
Tornillo M10*75-1,5	3
Tornillo M10*95-1,5	2

Tabla 14. Lista de chequeo tornillería para cambio a diámetro 303mm

Finalmente se completa el inventario con la referencia de 313mm, lo cual se presupuesta una disminución global para el cambio del módulo de 20 minutos entre actividades.

LISTA DE CHEQUEO CAMBIO DE REFERENCIA A 313				
ITEM	HERRAMIENTA	DESCRIPCION	ELEMENTO DE SUJECION	
			REFERENCIA	CANTIDAD
1	Sin Fin	Para todas las referencias		
2	Transferencia 1	2 estrellas sin separador	Tornillo M8*50-1,25	3
3	Herramienta Neck	8 estaciones		
4	Estrella central Neck	Estrella de 8 mm todas las referencias		
5	Guia Salida Neck	Guia de 8,5 mm y calzo de 27,5	Perno M8*45-1,25	2
6	Transferencia 2	2 Estrellas sin separador	Tornillo M8*50-1,25	3
7	Herramienta bisel	8 superiores y 8 inferiores		
8	Estrella central bisel	Estrella de 8 mm todas las referencias		
9	Guia Salida bisel	Guia de 8,5 mm y calzo de 38,5 mm	Perno M8*55-1,25	2
10	Transferencia 3	2 estrellas, con separador #3 de 47 mm + Separador #3 de 20,7 mm	Tornillo M8*85-1,25	3
11	Guia entrada venadora	Guia elevada #1		
12	Guia lateral	Guia inferior calzo de 52 mm + guia superior	Tornillo M10*95-1,5	2
13	Herramienta Venado	Herramienta venado ext, calzos H=12,25 mm (3 und)	Tornillo M10*85-1,5	3
14	Pilotos Venadores	8 H = 413		
15	Estrella central venadora	Estrella central , separador H:400 + H413 y platosuperior venado		
16	Transferencia 4	2 Estrellas, separador # 4 H=30	Tornillo M8*50-1,25	3
17	Moldes ϕ 313	8		
18	Carreta de 1ra operación	8		
19	Carreta de 2da operación	8		
20	Transferencia 5	2 estrellas con separador #5 H=74,56 mm	Tornillo M8*92,5-1,25	3
21	Guia de Salida	Guia de salida #1		

Tabla 15. Lista de chequeo para cambio a diámetro 313mm

Perno M8*45-1,25	2
Tornillo M8*50-1,25	9
Perno M8*55-1,25	2
Tornillo M8*85-1,25	3
Tornillo M8*92,5-1,25	3
Tornillo M10*85-1,5	3
Tornillo M10*95-1,5	2

Tabla 16. Lista de chequeo tornillería para cambio a diámetro 313mm

Ante este inventario surge la necesidad de restaurar, fabricar como comprar los insumos que se encuentren en condiciones deterioradas para operar (amellados, fracturados o fisurados, cizallados, entre otros), por lo cual, al tener estos elementos completos y organizados en el gabinete, para el personal resulta más eficiente solo tomar el elemento para su uso, que verse en la tarea de ingeniar alguna modificación o ejecutar algún arreglo para continuar con la tarea principal que es el cambio de referencia. Con ello se presupuesta una reducción de al menos otros 10 minutos en el proceso global de cambio.

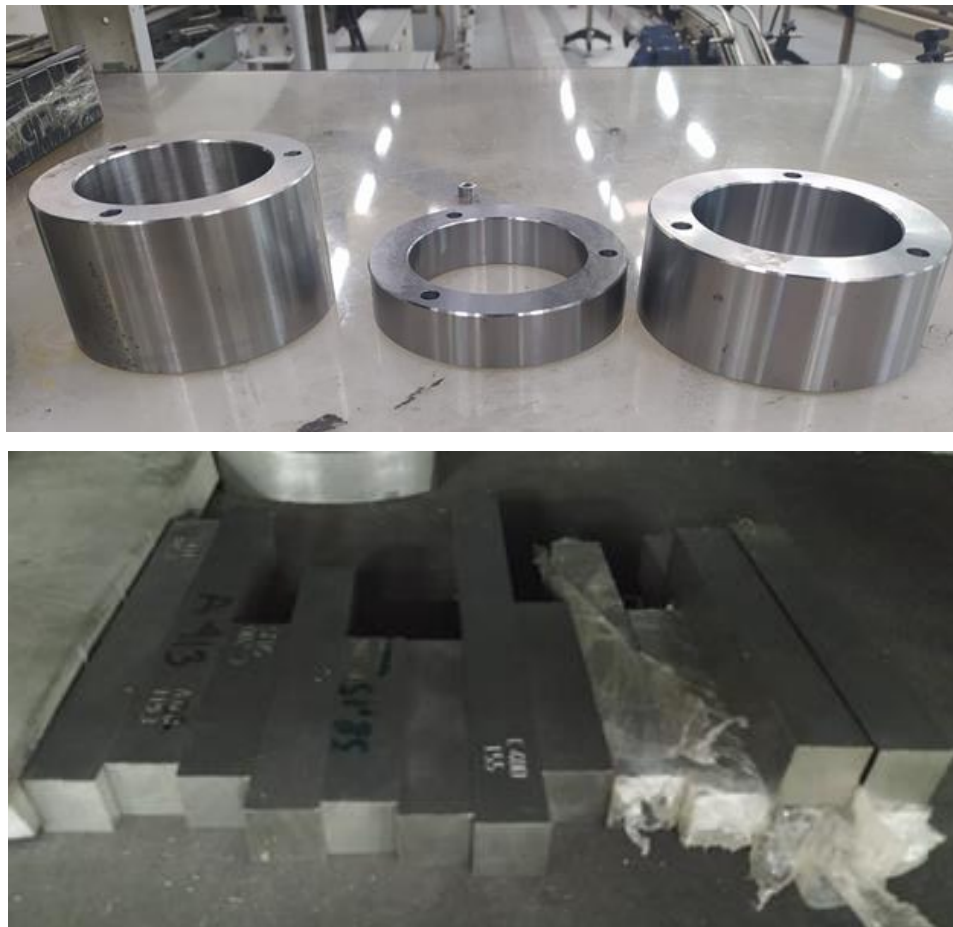


Figura 10. Restauración y adecuación insumos para SMED

Con ello se realiza igualmente una actualización de parámetros para la puesta a punto (PP) general del proceso, la cual es parte fundamental para garantizar que la operación durante el arranque de la línea genere las especificaciones adecuadas en el envase producido, con la espera de una disminución de 10 minutos globales en el cambio del módulo. De esta parte se encarga el área de Ingeniería y procesos, ya que entre su dominio se encuentra la potestad para modificar estos valores

si así se requiere, los cuales son verificados por el área de mantenimiento en pro de coincidir en que dichos valores son los actualmente vigentes para sus procesos, generando una eficiencia además de mayor seguridad en el proceso, sobre todo en las referencias de menor fabricación, ya que por su baja frecuencia, se da en ocasiones, un menor relacionamiento de parámetros con parte del personal entre lo establecido sobre lo acorde al montaje realizado, que es parte de la perspicacia y capacitación del factor humano, parte clave del éxito en este ahorro de tiempo.

Al mencionar estos cambios y su expectativa de ahorro, se expone un gráfico mediante el cual se visualiza la expectativa de disminución previo a la nueva ejecución con toma de datos sobre los tiempos reales que plasmarán los resultados de la aplicación de la metodología en la línea. Con este conjunto de cambios y mejoras, se esperaba una disminución para el cambio del módulo de 80 minutos, que presenta porcentualmente un 21.42% de tiempo.

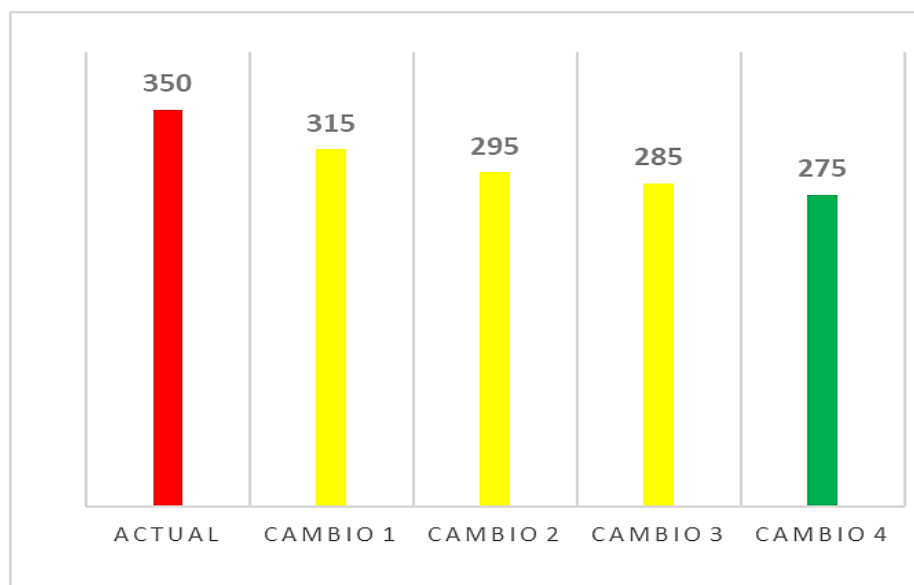


Figura 11. Estado actual vs esperado en tiempo (min) al aplicar SMED

9. RESULTADOS

A partir de los cambios realizados, para determinar y cuantificar la mejora obtenida fue necesario tomar nuevamente los tiempos respecto al cambio en general, con detallada observación en el módulo, ya que algunas de las mejoras estaban enfocadas en mejorar la criticidad de este equipo durante el proceso, donde se obtuvo una disminución partiendo de 350 minutos que era el tiempo empleado antes de aplicar la metodología, con un nuevo tiempo de 260 minutos, obteniendo una disminución de 90 minutos y un 25,71%, alrededor de 4 puntos más de lo esperado durante la generación de la estrategia.

Con ello se genera una actualización de los tiempos para las actividades del módulo y la nueva distribución del paso a paso en su ejecución.

MODULO					
N°	ACTIVIDAD	TIEMPO (min)	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO	
1	Modulo. Ajuste de transiciones y guías	35	13%	13%	35
2	Ajustar carretas de 1ra y 2da operación de cierre	30	12%	25%	30
3	verificar spc alturas y cierres	30	12%	37%	30
4	Registra puesta a punto cierres	30	12%	48%	30
5	Ajustar herramienta de venado	30	12%	60%	30
6	Ajustar altura de pin cerradora	30	12%	71%	30
7	Verificar medida pestañas	15	6%	77%	15
8	Ajustar alturas de pin en acuellado	20	8%	85%	20
9	Ajustar altura de pin en pestañadora	20	8%	92%	20
10	Verificar altura cuerpo acuellado	10	4%	96%	10
11	verificar profundidad de venas	10	4%	100%	10
TOTAL CAMBIO MODULO		260	100%		

Tabla 19. Tiempo por actividades de CR y PP en el módulo, estado final.

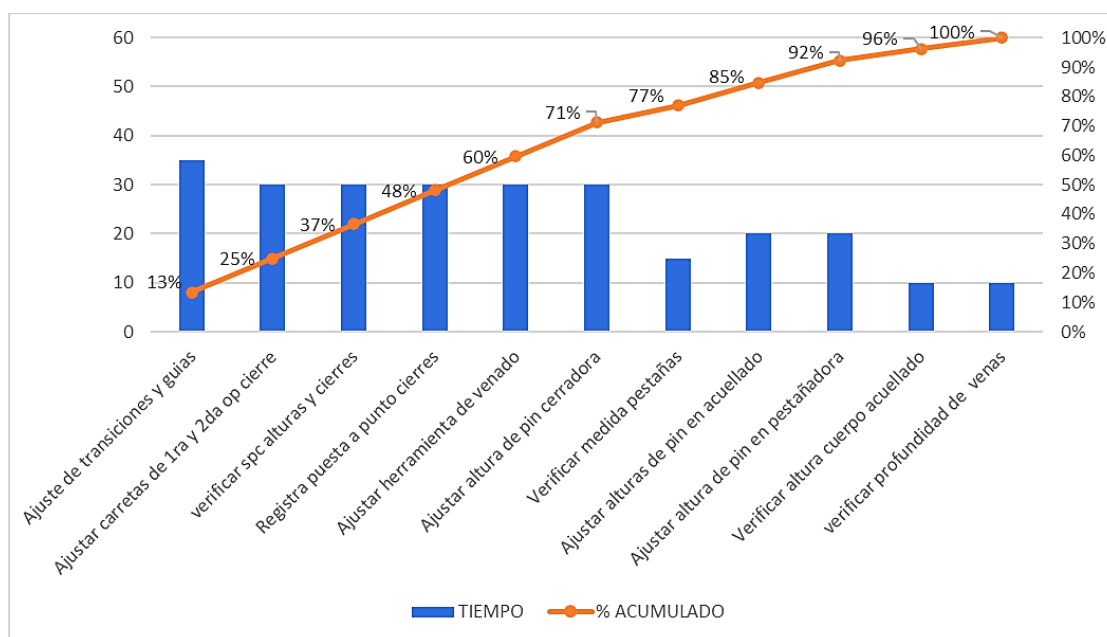


Figura 12. Diagrama de barras de actividades en el módulo, estado final, con porcentaje acumulado

Así mismo, se obtiene la nueva repartición de porcentajes del tiempo global del proceso que, de iniciar en 855 minutos, se transformó a 765 con una disminución del 10,52% que es un valor importante para el global del cambio de referencia.

N°	EQUIPO	ACTIVIDAD	TIEMPO (min)
1	CIZALLA	Ajuste stacker de 1ra vuelta	30
2		Verificación de cuchillas y separadores 1ra vuelta	30
3		Ajuste stacker de 2da vuelta	30
4		Verificación de cuchillas y separadores 2da vuelta	30
5		Verificación medidas de corte y rebaba	20
6	SOLDADORA	Ajuste Desapilador	35
7		Cambio de canoa por diametro	20
8		Ajuste y evaluacion Precurvado	20
9		Ajuste y evaluacion curvado	25
10		Ajute cadenas transporte soldadora	20
11		Ajustar brazo pendular, alambre y roldanas	30
12		Cambio de corona calibrada	25
13		Verificar la soldadura. (traslape, extrusion, pruebas de rasgado)	30
14	RESANE Y HORNO	Ajuste y evaluacion aplicación de polvo.	20
15		Ajuste y evaluacion barniz exterior	20
16		Ajuste temperatura horno y curado. (prueba de sulfato)	20
17		Ajuste de transportes	25
18	MÓDULO	Modulo. Ajuste de transiciones y guías	35
19		Ajustar alturas de pin en acuellado	30
20		Verificar altura cuerpo acuellado	30
21		Ajustar altura de pin en pestañadora	30
22		Verificar medida pestañas	30
23		Ajustar herramienta de venado	30
24		verificar profundidad de venas	15
25		Ajustar altura de pin cerradora	20
26		Ajustar carretas de 1ra y 2da operación de cierre	20
27		verificar spc alturas y cierres	10
28		Registra puesta a punto cierres	10
29	PALETIZADOR	Ajustar paletizador	75
Total tiempo cambio línea			765

Tabla 20. Tiempo de actividades para cambio de referencia, estado final.

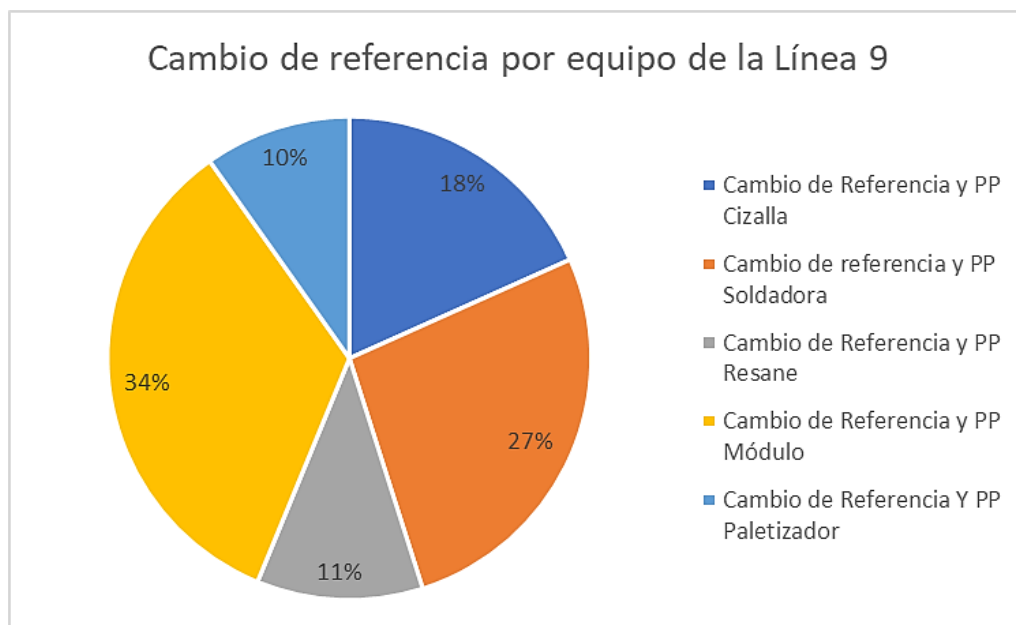


Figura 13. Diagrama circular por equipo en porcentaje de tiempo, después de aplicar SMED.

Aquí respecto al porcentaje individual por equipo se obtuvo una disminución del 7%, demostrando en general los beneficios de aplicar la metodología a través de diferentes análisis con el fin de mejorar la producción en una planta como lo es Prodevases S.A.S. Esto quiere decir que realmente hubo una mejora empleando SMED en la línea de ensamble 9, el cual puede ser extendido al resto de equipos, contando con una mayor disposición de tiempo para conocer y analizar el funcionamiento a fondo de estos, así como puede ser replicado en otros procesos internos de la compañía, ya que esta disminución de tiempo es valiosa en la producción, puesto que en el caso del año 2022, se generaron 33 cambios de referencia, que con esta estrategia, habrían generado alrededor de 2.970 minutos disponibles para producir envase, que a una velocidad de producción de la línea promedio del año 2023 de 100 a 150 envases por minuto, representa un rango de producción adicional de 297.000 a 445.500 envases más, lo que es una cantidad considerable, aumentando la productividad en un 3,66% a un 5,50% una cifra que aún puede ser mejorada con el acompañamiento de innovación de otros procesos.

Al poseer estos datos, dentro del área de mantenimiento se realiza la respectiva divulgación de los cambios realizados para hacer énfasis al equipo que apoyó esta metodología como a aquellos que están recibiendo la información, igualmente los datos relevantes como inventario y actualización de datos de estándar para los archivos internos de la compañía con subíndice CR (cambio de

referencia) y PP (puesta a punto) fueron actualizados por el área de Ingeniería y procesos con el fin de estar en disposición de quien lo requiera, así como el presente estudio el cual puede ser replicado o usado como referencia en el caso necesario de ejercer futuras mejoras para objetivos internos de la empresa.

10. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta la aplicación de la metodología SMED (Single Minute Exchange of Die) en la línea de ensamble número 9 de Prodenvases S.A.S. Se basa en la recopilación de datos internos durante el cambio de herramientas y realiza un análisis cuantitativo y cualitativo. Los resultados obtenidos de la estrategia de mejora para disminuir los tiempos de cambio de referencia permiten llegar a las siguientes conclusiones:

- Se logró un ahorro global del 10.52% en los tiempos de cambio de herramientas después de aplicar la metodología en comparación con los tiempos previos a la mejora.
- La colaboración del personal del área de mantenimiento, con su valioso conocimiento y experiencia en la maquinaria, fue fundamental para generar estrategias efectivas para reducir los tiempos muertos durante el cambio de referencia.
- Este modelo puede servir como referencia para otras aplicaciones industriales que enfrenten cambios de herramientas en procesos de fabricación con múltiples modelos dimensionales para satisfacer las demandas del mercado.
- Se logró estandarizar y divulgar el procedimiento para el personal involucrado en los cambios de referencia, y se documentó tanto en los estándares internos de la compañía como en este estudio.
- Esta implementación exitosa de la metodología SMED demuestra su relevancia y aplicabilidad en la optimización de procesos industriales, permitiendo aumentar la eficiencia, reducir tiempos improductivos y mejorar la productividad global de la empresa.

11. REFERENCIAS

- [1] J. d. S. andalucía, «CONTROL DE CIERRES EN CONSERVAS,» Consejería de Agricultura y Pesca, Andalucía, España, 2012.
- [2] Ecoacero, «Ecoacero. asoc ecologica para reciclado de hojalata,» [En línea]. Available: <https://ecoacero.com/el-ciclo-de-vida-del-envase-de-acero/la-hojalata/>. [Último acceso: 07 02 2023].
- [3] M. s. y. p. social, «Calidad e inocuidad de alimentos,» [En línea]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/salud/Paginas/inocuidad-alimentos.aspx>. [Último acceso: 06 02 2023].
- [4] p. lean, «¿Qué es SMED?,» [En línea]. Available: <https://www.progressalean.com/que-es-smed/>. [Último acceso: 06 02 2023].
- [5] P. s.a.s, «Reporte de Producción Elemental Metálicos,» Medellín, 2022.
- [6] S. Shingo, Una revolución en la producción: el sistema SMED, Tokyo: Japan Management Association, 1997.
- [7] L. M. S. Pérdomo, «METODOLOGÍA SMED (CAMBIOS RAPIDOS) PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE LA LÍNEA DE GALLETAS DULCES EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE COLOMBINA DEL CAUCA S.A,» UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE, SANTIAGO DE CALI, COLOMBIA, 2010.
- [8] A. R. C. CAB, «APLICACIÓN DE LA TÉCNICA SMED EN LA FABRICACIÓN DE ENVASES AEROSOLES,» UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, Guatemala, 2005.
- [9] C. E. G. JOJOA, «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,» UNIVERSIDAD SAN BUENAVENTURA CALI, SANTIAGO DE CALI, COLOMBIA, 2013.