

Transforming operational efficiency in soft drink bottling: a case study

Rosario del Pilar López Padilla¹; Augusto Edward Paz Campaña²; Margarita Jesús Egúsquiza Rodríguez³
; Lino Rolando Rodríguez Alegre⁴; Alfredo Jonathan Nuñez Amancio⁵

^{1,2,3}Universidad César Vallejo, Perú, rlopezp@ucv.edu.pe, aepazc@ucvvirtual.edu.pe, megusquizar@ucvvirtual.edu.pe

^{4,5}Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Perú, lrodriguez@unjfsc.edu.pe, alfredo9723.jne@gmail.com

Abstract—Single-Minute Exchange of Dies (SMED) focuses on identifying internal and external activities, seeking to transfer internal activities to external ones as much as possible, while minimizing internal activities. The research evaluated changes in productivity of the 3030 ml format on the production line at a carbonated beverage plant. The validity of the method and its sequence was verified, resulting in reductions in routine downtime due to format changes, an increase in effective equipment availability, and an increase in theoretical production capacity from 13,500 to 13,856-unit cases for the case study format. Improvements were achieved in process efficiency indicators, with a 3.4% increase in efficiency, a 3.7% increase in effectiveness, and an overall productivity increase of around 7.2% over a 16-week evaluation period, showing a more rational and effective use of available resources

Keywords—SMED, Lean Manufacturing, Setup, Waste, Productivity.

Transformando la eficiencia operativa en el embotellado de bebidas gaseosas: un caso de estudio

Rosario del Pilar López Padilla¹; Augusto Edward Paz Campaña²; Margarita Jesús Egúsquiza Rodríguez³
;Lino Rolando Rodríguez Alegre⁴;Alfredo Jonathan Nuñez Amancio⁵

^{1,2,3}Universidad César Vallejo, Perú, rlopezp@ucv.edu.pe, aepazc@ucvvirtual.edu.pe, megusquizar@ucvvirtual.edu.pe

^{4,5}Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Perú, lrodriguez@unjfsc.edu.pe, alfredo9723.jne@gmail.com

Abstract– El cambio rápido de moldes (SMED) se aboca a la identificación de las actividades internas y externas tratando de transferir, en la medida de lo posible las actividades internas a las externas y, al mismo tiempo, minimizar las actividades internas. La investigación evaluó los cambios en la productividad del formato de 3030 ml en la línea de producción en una planta de bebidas carbonatadas. Se comprobó la validez del método y su secuencia lográndose reducciones en los tiempos de paradas rutinarias por el cambio de formato con el aumento de la disponibilidad efectiva de los equipos y el incremento de la capacidad teórica de producción de 13,500 a 13,856 cajas unitarias para el formato del caso estudio. Se obtuvieron mejoras en los indicadores de eficiencia del proceso con un aumento en 3.4%, la eficacia en 3.7% y la productividad global en alrededor de 7.2%, para un periodo de evaluación de 16 semanas evidenciando un uso más racional y efectivo de los recursos disponibles.

Palabras Clave-- SMED, Manufactura Esbelta, Puesta en marcha, desperdicio y productividad.

I. INTRODUCCIÓN

Los cambios en el entorno, producto de la globalización, exigen de las organizaciones mayor eficiencia y como señalan [1] rediseñar su estructura organizativa y sus procesos. Mejores rendimientos en los procesos se asocian a la velocidad en la producción de bienes o servicios no se limitan solo a la fabricación; sino también, a la eficacia del proceso contribuyendo a la competitividad satisfaciendo las demandas del mercado. A su vez, el bajo rendimiento por los cuellos de botella, paradas de máquinas y escasez de recursos afectan el funcionamiento de la empresa [2]. Por ello, las organizaciones están abandonando la gestión tradicional de sus procesos y están adoptando métodos de mejora continua como el Lean Manufacturing, cuyo impacto en la producción se traduce en calidad, reducción de costos y aumentos en la productividad y rendimiento operativo.

El Lean Manufacturing se originó en la Toyota Motor Co. Es un concepto polifacético aplicable a diversos ámbitos [3] que prioriza la reducción de residuos, minimizar costos, mejorar la calidad de los procesos, aumentar los beneficios y maximizan el valor del cliente eliminando las actividades que consumen recursos y no añaden valor [4] [5] [6] [7], por lo que diversas metodologías del pensamiento Lean como el Lean, Six Sigma, TQM y SMED constituyen una disciplina de mejora continua, estandarización orientada a los procesos [8] [9] [10] [11] [12]. El SMED, desarrollado por Shigeo Shingo, posibilita minimizar los tiempos de preparación reduciendo el

tiempo para hacer los cambios de formato en las máquinas que ocasiona inactividad de los equipos y aumentar la eficiencia de la producción [12]. Su aplicación dependerá del tipo de proceso productivo dirigiéndola a los puntos donde se requiere mejorar la puesta en marcha de la maquinaria.

Los métodos tradicionales de producción asumen que los tiempos de preparación son fijos; sin embargo, como refiere [13] el SMED es una estrategia para el análisis y reducción de los tiempos de preparación e implica reducir la variedad de productos y combinar lotes de producción para reducir el número de actividades de preparación. Su objetivo es optimizar las operaciones de set-up, simplificar los procesos, reducir los tiempos de cambio y reducir tiempos improductivos minimizando errores operativos y optimizando el uso de los recursos disponibles, logrando mejoras sostenidas en el desempeño productivo [14]. Su implementación, implica identificar las actividades de cambio internas y externas, separarlas, convertir las actividades internas en externas, racionalizar las operaciones internas y documentar y estandarizar la mejora [15]. La lógica del SMED es clasificar las actividades como internas, cuando la producción se detiene para el cambio como el montaje o la retirada de troqueles y externas, cuando el proceso sigue en marcha (por ejemplo, transportar las matrices desde o hacia el almacén). El cambio de formato, denominado como operaciones de preparación, tiene lugar al inicio de cada proceso de producción y cuando esta es muy diversificada, las ordenes de cambios de formato son frecuentes y, por lo general, su número no se puede reducir; pero sí, el tiempo que toma cada una de ellas [16].

Estos dos tipos de actividades son extremadamente importantes en la aplicación del SMED. Los métodos mejorados se implementan en pasos diferentes y consecutivos.

El SMED se realiza principalmente en cuatro pasos [17]. El ciclo de planificación comienza observando todas las actividades relacionadas con el montaje y el mantenimiento de registros. Para la conversión de actividades, el objetivo es minimizar el tiempo de inactividad de la máquina poniendo énfasis en las medidas preventivas. Posteriormente, se identifican las actividades que no permiten reducir el tiempo. Ello impulsa a realizar actividades de apoyo para reestructurar la tarea. Finalmente, en la última fase, se registran todas las mejoras e incidencias [18]. El SMED propone que las configuraciones deben estar dentro de un rango de tiempo

menor a 10 minutos que puede lograrse por la racionalización de tareas realizada por los operadores de la máquina [19].

Según la filosofía Lean, el tiempo que toma hacer el cambio de formato es un desperdicio pues no añade valor al cliente. Su eliminación aporta ventajas, como la reducción de stock, incrementos en la capacidad de producción, eliminar errores de configuración, mejoras en la calidad, reducir tanto los tiempos de producción y los costes de producción así como la simplificación del uso de herramientas [20].

El SMED disminuye los tiempos de configuración y cambio que toma preparar la línea de producción y el equipo para producir un nuevo producto e involucra a todas las actividades de preparación de una línea de producción, y es el tiempo entre el producto anterior y el siguiente producto [21].

El tiempo empleado en realizar el cambio de formato se considera un desperdicio según la filosofía Lean pues el cambio de formato no añade valor al cliente. Su eliminación aporta numerosas ventajas, como la reducción de stock, el aumento de la capacidad de producción, la eliminación de errores de configuración, la mejora de la calidad, la reducción del tiempo de producción, la reducción de los costos de producción y la simplificación del uso de herramientas [22].

La investigación se propuso como objetivo general evaluar los cambios en la productividad en la línea de producción de la presentación 3030 ml en una planta de bebidas carbonatadas siendo sus objetivos específicos evaluar los cambios en la eficiencia y eficacia luego de implementado el SMED. La hipótesis propuesta fue que la implementación del SMED mejora la productividad. La población se trabajó con la información de los partes de producción de 16 semanas, para el pre y post test.

II. METODOLOGÍA

Se utilizó un diseño preexperimental de tipo pretest-posttest para evaluar indicadores de desempeño; y si bien es cierto este diseño carece de la rigurosidad de un grupo de control [23] es adecuado para analizar elementos de tiempo en líneas de producción continua. La línea PET de la planta del caso estudio produce bebidas carbonatadas de sabores diversos en formatos de 350, 625, 1700 y 3030 ml, así como aguas con y sin gas en presentaciones de 500 y 625 ml. Su línea FEIJOO, denominada así por la marca de la llenadora, envasa formatos de 350 ml. Su capacidad promedio es de 170 botellas/minuto en los formatos 350, 500 y 625 ml. La velocidad nominal de envasado de la línea PET para el formato 3030 ml es de 45 botellas/minuto. La producción se expresa en cajas unitarias que es la unidad de medida estándar de producción en la industria.

La planta atiende la demanda de diversas regiones del Oriente del país en el Perú. El proceso productivo comprende la secuencia siguiente: tratamiento de agua, elaboración de jarabes, soplado de envases PET, mezcla del agua tratada con

el jarabe terminado y CO2 acorde a los grados BRIX del sabor a producir, envasado y capsulado, codificación, etiquetado y empaque. La producción mensual se asocia a la estrategia comercial del área de marketing y está sujeta a modificaciones por cambios en la demanda por el incremento de la temperatura en la zona de influencia de mercado. Diversos tipos de paradas inciden en la productividad de la línea PET afectando la eficiencia general del equipamiento (OEE) y la productividad del proceso. Estas se debían a la inoperatividad de los equipos (61.93%) por fallas mecánicas y eléctricas del equipamiento que obligaban al reemplazo de repuestos, las paradas programadas (15.31%) atribuidas al mantenimiento de equipos, limpieza de la línea y los refrigerios del personal, las paradas rutinarias (15.14%) asociadas a los cambios de formato de las diferentes presentaciones del Plan de producción y las paradas organizacionales (7.63%) por algún evento fuera del control de la empresa (un movimiento sísmico) o el incumplimiento en el servicio asignado a alguna de las empresas subcontratados. El total de estos 4 tipos de paradas para el año 2023 fue de 105, 586 minutos equivalente a 1,760 horas. Respecto a las paradas rutinarias del formato 3030 ml de la línea PET estas totalizaron 7,122 en el año 2023. En la Fig. 1 siguiente se puede apreciar esta agrupación:

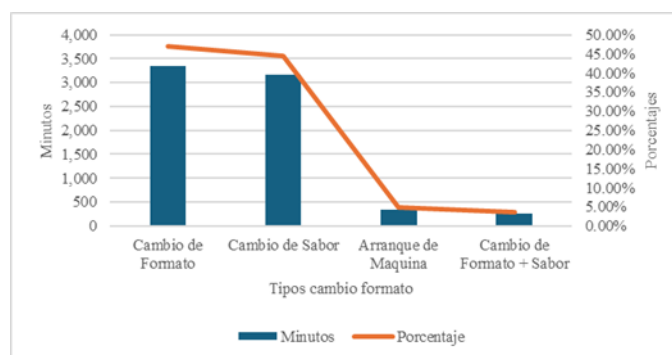


Fig. 1 Paradas rutinarias para el formato 3030ml durante el periodo 2023

III. RESULTADOS

La mejora buscó reducir las paradas asociados con los 59 cambios de formato en la presentación de 3,030 ml que totalizó 3,341 minutos el año 2023 equivalentes al 46.91% del porcentaje total de paradas y susceptibles de reducirse mediante el SMED. Sin embargo, lograr las mejoras propuestas estaba supeditada a la capacitación, involucramiento y compromiso del personal y el reordenamiento de las tareas. Además, herramientas de calidad como el diagrama de Ishikawa y el gráfico de Pareto permitieron identificar al excesivo tiempo por los cambios de formato como la problemática a resolver.

El SMED, no diseña o rediseña equipos; optimiza el uso

de los recursos disponibles con que se cuenta. Su implementación comprendió la secuencia siguiente: Paso 1: Identificación de las actividades de cambio: grabaciones de video efectuadas registraron el tiempo que le tomaba al operador las actividades de set up de formato de los equipos donde tenía lugar estos cambios. Se grabaron las operaciones de los diferentes equipos involucrados en el proceso productivo. Entre estas, la llenadora lineal, la capsuladora para tapas plásticas, la máquina etiquetadora lineal y la empacadora. La toma de tiempos identificó a la llenadora como el equipo cuyo cambio de formato tomaba en promedio 64 minutos siendo el equipo crítico en la línea de producción, Paso 2: Separación de actividades interna y externas: Se identificaron aquellas cuando la llenadora estaba detenida y las efectuadas cuando la misma estaba operando. De las 41 operaciones involucradas en el cambio de formato 40 se realizaban cuando la llenadora estaba detenida (actividades internas) con altos tiempos de cambio teniéndose solo 1 actividad externa (trasladar formatos desde almacén a línea PET). Paso 3: Convertir las actividades internas a externas: Con las actividades asociadas al cambio de formato se identificó las que podían efectuarse con la máquina detenida (actividades internas) y las efectuadas con la máquina en operación (actividades externas). Se identificaron 8 actividades internas que se convertidas en externas que se adicionaron a la actividad 1 (Trasladar formatos desde almacén a línea PET) identificada inicialmente como actividad externa. Por la conversión de 8 actividades internas a externas se ahorraron 24.03 minutos Paso 4: Reducción de las actividades internas: De las 32 actividades internas restantes, al analizar más detenidamente las grabaciones efectuadas se identificó que unificando 4 actividades internas se reducían movimientos innecesarios. Paso 5: Reducción de actividades externas: Implico eliminar ciertas actividades externas efectuando acciones que redujo el tiempo que tomaba estas antes de implementar la mejora. Con ello se logró una reducción de 16.47 minutos. Paso 6: estandarizar el cambio: Se documentó los procedimientos y las mejoras implementadas de forma clara, consistente y simplificada para todas las etapas de un proceso de cambio y se capacitó al personal en los cambios efectuados. Además, se registró la filmación del nuevo proceso.

La Tabla 1 muestra el detalle de las actividades después de la implementación del SMED en la línea de producción PET.

TABLA I
ACTIVIDADES DEFINIDAS DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SMED

N°	Actividad	Act. Interna	Act. Externa
1	Cerrar válvula de ingreso de bebida a llenadora	X	
2	Girar llenadora y enjuagar con agua y abrir válvula para reducir presión del sistema de elevación de pedales	X	
3	Retirar mesa de trabajo y estrellas del formato 3030 ml	X	
4	Colocar acoples, estrellas y guías de formato 350 ml	X	
5	Regular pista de Alivio	X	
6	Ajustar guías de estrella	X	
7	Regular sistema de abre válvula	X	
8	Inspección de estrellas y guías y la regulación de alturas de la taza de la llenadora	X	
9	Regular guía de transportador de ingreso a la llenadora	X	
10	Ajuste de pistas de alivio	X	
11	Ajuste de abre válvula	X	
12	Colocar guía de ingreso a llenadora	X	
13	Regular y ajustar estrellas de mesa de trabajo	X	
14	Traer mesa de formato del área de almacenamiento de formatos	X	X
15	Abrir válvula de aire para el sistema de pedales	X	
16	Colocar y ajustar mesa de trabajo	X	
17	Verificación de sincronización de manejo de accesorios de la llenadora	X	
18	Enjuagar llenadora	X	
19	Abrir válvula de aire para contrapresión de tasa y regular	X	
20	Ordenar neck support por secuencia	X	X
21	Colocar neck support en pedales por llenadora	X	
22	Colocar mariposas de la taza de llenadora	X	
23	Retirar tubos de venteo de formato de 3030 ml	X	
24	Colocar mariposa de la taza de llenadora	X	

Nº	Actividad	Act. Interna	Act. Externa
2	Retirar tazas de venteo de	X	
5	formato 3030 ml		
2	Colocar mariposas de la taza	X	
6	de llenadora		
2	Retirar y traer tubos de venteo	X	
7	de formato 303 ml y 350 ml		
2	Colocar tubos de venteo de	X	
8	formato 350 ml		
2	Colocar neck support, del	X	
9	formato 350 ml		
3	Retirar neck support, colocar	X	
0	pedales y trasladar manejos al		
	área de formatos de llenadora		
	y encapsuladora		
3	Ordenar sacos en plataforma		X
1	de botellas y colocar botellas		
	en el transportador		

Respecto a mejoras en la productividad del proceso se detalla la secuencia seguida por las mejoras implementadas. A partir de la información relacionada con las actividades asociadas a las paradas rutinarias, el estudio de tiempos determinó el tiempo estándar del proceso de llenado que incluyó el tiempo de cambios de formato para cada ciclo de producción y el tiempo neto de llenado en la línea automatizada. Además, se registraron los tiempos de paradas de máquina por fallas mecánicas y las ocasionadas por problemas logísticos y administrativos. La información de referencia provino de los partes de producción de 16 semanas del año 2023. El tiempo de estándar calculado para el proceso fue de 0.75 min/CU, estimándose en 10,080 min/semana, los minutos disponibles en la semana para el proceso. Además, los estimados porcentuales de tiempos estándar respecto al tiempo total del proceso fue de 9.06% para las paradas rutinarias y 90.94% para el proceso de embotellado.

Respecto a la capacidad teórica del proceso productivo en la línea PET para el formato 3030 ml, el pretest la estimó en 13,500 cajas unitarias por semana obteniéndose valores del 93.47%, 92.82% y de 86.76% para la eficiencia, eficacia y productividad respectivamente.

La implementación de la metodología SMED enfocada en reducir los tiempos de cambio de formato impactó en los tiempos de parada rutinarias posibilitando una nueva medición de tiempos con el nuevo método en condiciones similares a la del pretest obteniéndose un tiempo estándar mejorado de 0.72 min/CU. La reducción del tiempo estándar por la reducción en los tiempos de cambios de formato pasó a representar el 6.9%, del tiempo total incrementándose a 93.1% el porcentaje del tiempo total del proceso de llenado en la línea PET de 3030 ml. Esta reducción del tiempo estándar permitió incrementar la capacidad teórica en el post test a 13,856 cajas

unitarias/semana. Con estos valores la medición post test para un periodo de 16 semanas permitió verificar que los porcentajes de eficiencia, eficacia y productividad se incrementaron a 96.61%, 96.28% y 93.02% respectivamente, los que se muestran en la figura.2

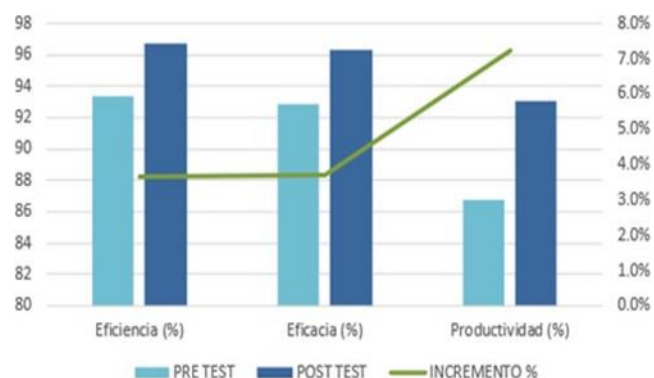


Fig. 2 Variación de los incrementos porcentuales de los indicadores

Los resultados descriptivos de la Tabla II muestran una mejora cuantitativa en el desempeño del proceso tras la implementación del SMED, donde la media de la eficiencia se incrementó de 93.47% en el pretest a 96.61% en el postest, mientras que la eficacia pasó del 92.82% al 96.28%. Este crecimiento en los promedios vino acompañado de una importante reducción en la dispersión de los datos, especialmente en la eficiencia, cuya desviación estándar descendió de 0.768 a 0.068. Ello sugiere una mayor estabilidad y control del proceso productivo tras la aplicación del SMED. Asimismo, el cambio en los valores de asimetría y curtosis en el postest indican una modificación en la distribución de los indicadores, reflejando una concentración de los resultados en niveles de desempeño más altos en comparación con el pretest.

TABLA II
RESULTADOS DESCRIPTIVOS DE EFICIENCIA Y EFICACIA

	Estadísticos	Eficiencia	Eficacia
PRE TEST	Media	93.4662	92.8244
	Desv. Desviación	0.76813	0.76610
	Asimetría	0.100	0.099
	Curtosis	-1.564	-1.570
POST TEST	Media	96.6134	96.2800
	Desv. Desviación	0.06806	0.40378
	Asimetría	-1.224	-0.654
	Curtosis	0.846	-0.583

El análisis descriptivo de la Tabla III evidencia una mejora sustancial en la productividad por la implementación

del SMED por un incremento en la media desde 86.76% en el pretest hasta 93.02% en el postest. Este incremento en la productividad se complementa con una reducción en la variabilidad del proceso, que disminuyó de 1.427 a 1.111 indicando que el proceso es tanto más productivo y estable; asimismo, el desplazamiento de la asimetría hacia valores negativos y el cambio de una curtosis platicúrtica a una leptocúrtica en la fase final sugieren que los datos tienden a concentrarse de manera más uniforme en torno a la media.

TABLA III
RESULTADOS DESCRIPTIVOS DE LA PRODUCTIVIDAD PRE Y POST TEST

		Estadístico
Productividad PRE	Media	86.7594
	Desv. Desviación	1.42749
	Asimetría	0.104
	Curtosis	-1.571
Productividad POST	Media	93.0194
	Desv. Desviación	1.11184
	Asimetría	-1.248
	Curtosis	0.820

La interpretación de los resultados de la Tabla III, se pueden corroborar con la gráfica de control de la Figura. 3

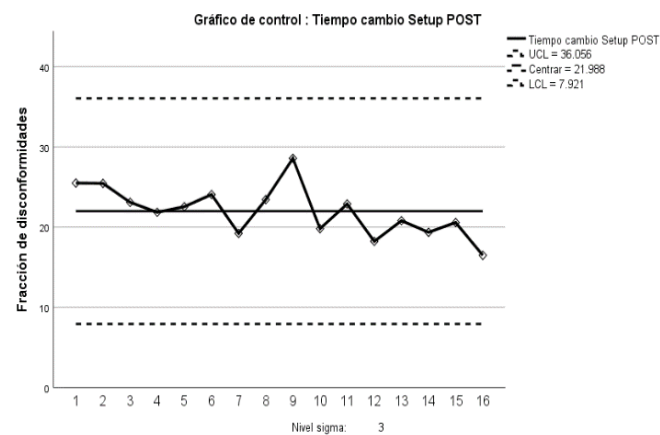


Fig. 3 Graficas de control de los tiempos de cambio postest

La gráfica de control de la Fig. 3 muestra los tiempos de cambio bajo control estadístico con os los datos dentro de los límites establecidos. El tiempo promedio de cambio de setup se estabilizó en un valor central de 21.988, manteniéndose alejado de los límites de control superior (36.056) e inferior (7.921). Se observó una fluctuación natural de los datos sin tendencias erráticas ni valores atípicos que valida la eficacia de la mejora implementada. Esta estabilidad en el postest confirma que la variabilidad del proceso se redujo

significativamente, garantizándose una mayor previsibilidad en los tiempos de preparación de la producción continua. Los resultados del análisis inferencial para la hipótesis de investigación se muestran en la Tabla IV

TABLA IV
CONSTRASTE DE LA HIPOTESIS GENERAL

	Productividad POST - Productividad PRE
Z	-3,464 ^b
Sig. asintótica(bilateral)	,001

El contraste de la hipótesis general de la Tabla IV muestra una diferencia estadísticamente significativa entre la productividad antes y después de la implementación del SMED. Al obtenerse una significancia de 0,001, valor que es inferior al nivel de significancia estándar de 0.05, rechazándose la hipótesis nula y aceptando la hipótesis de investigación. Asimismo, el valor del estadístico Z de -3,464 corrobora que el cambio observado en los niveles de productividad no es producto del azar. Estos resultados confirman que la metodología SMED impactó en el desempeño productivo del proceso analizado. Además, el valor Z, de la mejora obtenida es producto de las actividades desarrolladas y cambios en el proceso productivo y si bien es cierto que la aplicación del SMED se ha efectuado bajo un diseño preexperimental, esto no significa que no se haya tenido especial cuidado en el control de factores externos que hayan podido alterar los resultados obtenidos.

La implementación del SMED representó un incremento porcentual de la eficiencia, eficacia y productividad en el orden del 3.4%, 3.7% y 7.2% respectivamente. Ello se ha traducido en un incremento en la capacidad real de producción reduciendo, en promedio, los tiempos de parada rutinarias de 136 min por ciclo del proceso de llenado en el pretest a 21 min después de la implementación, permitiendo un incremento de aproximadamente 1,400 cajas unitarias por mes del formato de 3030 ml en la línea de llenado. Debemos señalar que la implementación se ha concentrado en el tiempo de las paradas rutinarias que eran un 15% del tiempo total de las paradas en la línea del formato 3030 ml estando como tarea pendiente analizar la posibilidad de lograr reducir los tiempos de los otros tipos de parada que no dependen de los cambios de formato y de sabor de la línea PET en general

III. DISCUSIÓN

La implementación de la metodología SMED ha demostrado ser eficaz en la reducción de los tiempos de

cambio de formato en empresas embotelladoras de bebidas gaseosas. Según [24], el principal obstáculo para lograr volúmenes de producción más pequeños y variados es el denominado problema del cambio de serie que se manifiesta en tiempos de preparación de máquina elevados obligando a trabajar grandes lotes para compensarlos. La aplicación del SMED en esta investigación evidencia una reducción de 136 a 21 minutos en el tiempo de cambio de setup (una reducción porcentual de 84.56%) coincidente con reducciones reportadas en entornos industriales y donde este valor es comparable con los hallazgos de [25] quienes documentan una disminución del 25% del tiempo de ajuste y la liberación de 30 minutos productivos por turno tras la aplicación de SMED. De forma similar, [26] reportan reducciones diferenciadas de hasta 61% en estaciones específicas reforzando la idea de que la magnitud del impacto depende del grado de estandarización previo del proceso. Desde la perspectiva de la producción, el incremento de 13,500 a 13,857 cajas (+2.64%) se alinea con estudios que evidencian aumentos directos en el volumen producido tras la reducción del setup. En particular, [25] señalan que la ganancia de tiempo permitió fabricar 25 piezas adicionales en máquinas CNC por turno, mientras que [27] destacan que la reducción del tiempo para alcanzar la producción pico mejora la capacidad de respuesta del sistema, aun cuando el incremento no siempre se expresa en unidades totales producidas. En cuanto a la eficiencia y la eficacia, los avances de 93.46% a 96.61% (+3.4%) y de 92.82% a 96.28% (+3.73%) encuentran respaldo adicional en estudios que combinan SMED con otras prácticas Lean. [28] que reportan incrementos sustanciales en la eficacia operativa al integrar SMED con 5S y TPM en pymes embotelladoras, mientras que [13] evidencian mejoras del 72% en indicadores específicos de eficiencia del setup. Estas coincidencias sugieren que los beneficios de SMED se potencian cuando se articulan con enfoques complementarios. Finalmente, el aumento de la productividad observado (+7.22%) es consistente con la literatura que vincula la reducción de pérdidas por cambio de formato con mejoras globales del desempeño. No obstante, trabajos como el de [29] muestran que, por la falta de una implementación formal de SMED, las ineficiencias persisten y no se reflejan mejoras cuantificables, lo que refuerza la relevancia de una aplicación sistemática de la metodología. En conjunto, esta discusión confirma la solidez de los resultados y fortalece su validez externa.

IV. CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología SMED en la línea del formato 3030 ml de una planta de aguas gaseosas permitió evidenciar mejoras en el desempeño operativo del proceso, al intervenir directamente sobre uno de los principales focos de ineficiencia: los tiempos de cambio de formato. El análisis detallado de las actividades asociadas al set-up y su reorganización hicieron posible transformar un proceso rígido

y prolongado en un sistema más ágil, reduciendo de manera significativa los tiempos de parada de la línea y aumentando la disponibilidad efectiva de los equipos. Desde un enfoque cuantitativo, la implementación del SMED permitió reducir el tiempo promedio de cambio de formato de 136 a 21 minutos por ciclo con una disminución aproximada del 84.6%. Esta reducción tuvo un impacto directo en el tiempo estándar del proceso, que pasó de 0.75 a 0.72 minutos por caja unitaria, incrementando la proporción de tiempo productivo automatizado dentro del ciclo total de producción. Como consecuencia de esta mejora en los tiempos de preparación, la capacidad teórica semanal de la línea de embotellado se incrementó de 13,500 a 13,856 cajas unitarias, reflejándose en mejoras medibles de los indicadores de desempeño. La eficiencia del proceso aumentó en aproximadamente 3.4%, la eficacia en 3.7% y la productividad global en alrededor de 7.2%, evidenciando un uso más racional y efectivo de los recursos disponibles. Los resultados ponen de manifiesto que el éxito de la metodología SMED no se limita a la aplicación técnica de sus etapas, sino que depende en gran medida del compromiso del personal operativo, la capacitación continua y la estandarización de los nuevos métodos de trabajo. La participación de los operadores permitió consolidar mejoras sostenibles y replicables en el tiempo. Finalmente, la experiencia obtenida confirma que el SMED constituye una herramienta clave para fortalecer la competitividad de las líneas de embotellado de gaseosas, no solo por los beneficios cuantificables alcanzados, sino también porque establece una base sólida para la integración futura con otras herramientas del Lean Manufacturing, orientadas a una mejora integral y sostenida del sistema productivo.

AGRADECIMIENTOS

Nuestros agradecimientos al responsable del área de producción de la planta donde se ha desarrollado el estudio

REFERENCIAS

- [1] L. Mathew Alexander y P. G. Saleeshya, "Qualitative analysis of different lean assessment methods: A comprehensive review of applications", *Mater. Today Proc.*, vol. 58, pp. 387–392, ene. 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.02.325.
- [2] Z. Ang, C. K. Cheah, y J. Prakash, "Enhancing throughput in labor intensive assembly lines", *E3S Web Conf.*, vol. 603, p. 04021, 2025, doi: 10.1051/e3sconf/202560304021.
- [3] M. Afonso, A. T. Gabriel, y R. Godina, "Proposal of an innovative ergonomic SMED model in an automotive steel springs industrial unit", *Adv. Ind. Manuf. Eng.*, vol. 4, p. 100075, may 2022, doi: 10.1016/j.aime.2022.100075.
- [4] J. R. Huerta-Palacios, M. A. Padilla-Fernández, y M. F. Collao-Díaz, "Production Model Based on SMED and Work Standardization to Increase Efficiency in the Cutting Area of a Textile Company", en *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, AMU, Aligarh, India: IEOM Society International, nov. 2023. doi: 10.46254/IN03.20230043.

- [5] M. Mohan Prasad, J. M. Dhiyaneswari, J. Ridzwanul Jamaan, S. Mythreyan, y S. M. Sutharsan, "A framework for lean manufacturing implementation in Indian textile industry", *Mater. Today Proc.*, vol. 33, pp. 2986–2995, ene. 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.979.
- [6] A. Palange y P. Dhattrak, "Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing", *Mater. Today Proc.*, vol. 46, pp. 729–736, ene. 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.193.
- [7] M. Imai, "Cómo Implementar El Kaizen en El Sitio de Trabajo (Gemba) - Masaaki Imai PDF | PDF". Consultado: el 18 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/462406766/COMO-IMPLEMENTAR-EL-KAIZEN-EN-EL-SITIO-DE-TRABAJO-GEMBA-MASA-AKI-IMAI-pdf>
- [8] M. H. Muazu, R. Tasmin, M. H. Muazu, y R. Tasmin, "Operational Excellence in Manufacturing, Service and the Oil & Gas: the Sectorial Definitional Constructs and Risk Management Implication", *Path Sci.*, vol. 3, núm. 9, pp. 3001–3008, sep. 2017, doi: 10.22178/pos.26-4.
- [9] P. Found, A. Lahy, S. Williams, Q. Hu, y R. Mason, "Towards a theory of operational excellence", *Total Qual. Manag. Bus. Excell.*, vol. 29, pp. 1–13, jun. 2018, doi: 10.1080/14783363.2018.1486544.
- [10] A. M. Carvalho, P. Sampaio, E. Rebentisch, J. A. Carvalho, y P. Saraiva, "The influence of operational excellence on the culture and agility of organizations: evidence from industry", *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 38, núm. 7, pp. 1520–1549, dic. 2020, doi: 10.1108/IJQRM-07-2020-0248.
- [11] S. Naik, M. Sony, J. Antony, O. McDermott, G. L. Tortorella, y R. Jayaraman, "Operational excellence framework for sustainability in the organisation: a design science approach", *Prod. Plan. Control*, vol. 35, núm. 11, pp. 1215–1231, ago. 2024, doi: 10.1080/09537287.2023.2165188.
- [12] R. G. P. Junior, R. H. Inácio, I. B. Da Silva, A. Hassui, y G. F. Barbosa, "A novel framework for single-minute exchange of die (SMED) assisted by lean tools", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 119, núm. 9–10, pp. 6469–6487, abr. 2022, doi: 10.1007/s00170-021-08534-w.
- [13] M. Braglia, F. Di Paco, y L. Marrazzini, "A new Lean tool for efficiency evaluation in SMED projects", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 127, núm. 1–2, pp. 431–446, jul. 2023, doi: 10.1007/s00170-023-11508-9.
- [14] M. Rajadell Carreras y J. L. Sánchez García, *Lean manufacturing: la evidencia de una necesidad*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2010.
- [15] A. C. Moreira y G. C. S. Pais, "Single Minute Exchange of Die: A Case Study Implementation", *J. Technol. Manag. Innov.*, vol. 6, núm. 1, pp. 129–146, mar. 2011, doi: 10.4067/S0718-27242011000100011.
- [16] B. Ulutas, "An application of SMED methodology", *World Acad. Sci. Eng. Technol.*, vol. 79, pp. 100–103, jul. 2011.
- [17] R. Şahin y A. Koloğlu, "A Case Study on Reducing Setup Time Using SMED on a Turning Line", *Gazi Univ. J. Sci.*, vol. 35, núm. 1, pp. 60–71, mar. 2022, doi: 10.35378/gujs.735969.
- [18] K. Vargas-Tapia, G. Amiel-Reategui, y G. Viacava, "Increase the efficiency of the production process of machines in textile and clothing companies through a model based on TPM and SMED", en *Proceedings of the 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology: "Education, Research and Leadership in Post-pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions"*, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2022. doi: 10.18687/LACCEI2022.1.1.752.
- [19] A. Bonamigo, P. M. M. Bernardes, L. F. Conrado, L. F. Torres, y R. D. Calado, "Patient Flow Optimization: SMED adoption in Emergency Care Units", *IFAC-Pap.*, vol. 55, núm. 10, pp. 204–209, 2022, doi: 10.1016/j.ifacol.2022.09.391.
- [20] M. Sugarindra, M. Ikhwan, y M. R. Suryoputro, "Single Minute Exchange of Dies as The Solution on Setup Processes Optimization by Decreasing Changeover Time, A Case Study in Automotive Part Industry - IOPscience". Consultado: el 19 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/598/1/012026>
- [21] A. Ghobadian, I. Talavera, A. Bhattacharya, V. Kumar, J. A. Garza-Reyes, y N. O'Regan, "Examining legitimatisation of additive manufacturing in the interplay between innovation, lean manufacturing and sustainability", *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 219, núm. C, pp. 457–468, 2020.
- [22] C. Oliveira y T. M. Lima, "Setup Time Reduction of an Automotive Parts Assembly Line Using Lean Tools and Quality Tools", *Eng.*, vol. 4, núm. 3, pp. 2352–2362, sep. 2023, doi: 10.3390/eng4030134.
- [23] R. Hernández Sampieri, C. F. Fernández-Collado, y P. Baptista Lucio, *Metodología de la investigación*, Sexta edición. México D.F.: McGraw-Hill Education, 2014.
- [24] F. Gil y A. Suñe, "SMED Manual Práctico: Producción en Series Cortas y Variadas", Studocu. Consultado: el 18 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.studocu.com/co/document/corporacion-universitaria-de-la-costa/diseño-de-ingeniería/smed-manual-practico-produccion-en-series-cortas-y-variadas/148256139>
- [25] I. Becerril y C. Martínez, "Implementación del SMED para reducir el tiempo de ajuste en máquinas CNC", *Cienc. Lat. Rev. Científica Multidiscip.*, vol. 9, núm. 3, pp. 9653–9668, may 2025, doi: 10.37811/cl_rcm.v9i3.18631.
- [26] B. Oleksiak, B. Ciecińska, P. Olów, y M. Hordyńska, "Analysis of the Possibility of Introducing the Reduction of Changeover Time of Selected CNC Machines Using the SMED Method", *Prod. Eng. Arch.*, vol. 29, pp. 83–93, feb. 2023, doi: 10.30657/pea.2023.29.10.
- [27] A. Mohammad, A. Hamja, y P. Hasle, "Reduction of changeover time through SMED with RACI integration in garment factories", *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 15, núm. 2, pp. 201–219, jun. 2023, doi: 10.1108/IJLSS-10-2021-0176.
- [28] D. Rossi, B. Tecse, y R. Meza, "Enhancing Operational Effectiveness in a Beverage Bottling SME through SMED, 5S, and TPM Maintenance Practices", *Int. J. Ind. Eng.*, vol. 12, núm. 3, nov. 2025, doi: 10.14445/23499362/IJIE-V12I3P103.
- [29] M. Stapelbroek, O. A. Kilic, Y. Yang, y D. P. Van Donk, "Eliminating production losses in changeover operations: a case study on a major European food manufacturer", *Prod. Plan. Control*, vol. 35, núm. 8, pp. 794–807, jun. 2024, doi: 10.1080/09537287.2022.2136041.