

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**METODOLOGÍA SMED PARA AUMENTAR EL NIVEL DE SERVICIO  
EN UNA EMPRESA ENVASADORA DE BIDONES DE AGUA DE MESA**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**AUTOR**

**CAMILA ALEJANDRA CASTAÑEDA CABRERA**

**ASESOR**

**MAXIMILIANO RODOLFO ARROYO ULLOA**

<https://orcid.org/0000-0002-6066-6299>

**Chiclayo, 2020**

## Índice

RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	3
I. INTRODUCCIÓN.....	4
II. MARCO TEORICO.....	4
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	6
V. CONCLUSIONES.....	14
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15

## **RESUMEN**

La presente investigación tiene como objetivo aumentar el nivel de servicio de una empresa envasadora de bidones de agua de mesa, a partir de la disminución de los tiempos de cambio de formato los cuales inciden en el tiempo de producción por unidad de bidón de agua. La metodología SMED fue utilizada para la mejora de los tiempos de cambio de formato en el área de envasado mediante la cual pasó de 83,406 minutos a 44,01 minutos de cambio de formato, disminuyendo el tiempo de producción unitario, el cual es cercano al takt time, y es por ello que el nivel de servicio aumentó de 84,43% a 96,73% haciendo más competitiva a la empresa.

**Palabras clave:** Metodología SMED, Nivel de servicio, Envasado de agua.

## **ABSTRACT**

This research aims to increase the level of service of a water bottles packaging company, from the decrease in the times of change of format, which affect the production time per unit of water bottle. The SMED methodology was used to improve the format change times in the packaging area by which it went from 83,406 minutes to 44.01 minutes of format change, decreasing unit production time, which is close to takt time, and that is why the level of service increased from 84.43% to 96.73% making the company more competitive.

**Keywords:** SMED methodology, Service level, Water packaging.

## **I. INTRODUCCIÓN**

La empresa actualmente se dedica a la fabricación y comercialización de tres líneas de productos, teniendo como producto bandera la línea de bidones de agua de mesa, la cual presenta entre sus principales problemas los altos tiempos de producción por unidad, todo ello debido a los tiempos de cambio de formato de 83,406 minutos, donde el 41,3% dichos tiempos se encuentran en el área de envasado, además de la baja efectividad total de la máquina de llenado de 15,49% y un tiempo muerto, calculado a partir de diagrama hombre-máquina, de 33,33 minutos durante un turno de 4 horas con una producción de 55 unidades. Teniendo en cuenta un mismo lote, el proceso de envasado requiere de 86,54 minutos, siendo 68,84 minutos para el proceso de llenado y 17,7 minutos para el proceso de tapado, los cuales son afectados por los altos tiempos de cambio de formato que se realizan, representando el 35,5% y 56,3% del tiempo total de dichos procesos respectivamente. Todo ello trae consigo pedidos no atendidos por incumplimiento en los plazos de entrega con un total de S/ 29 775 de agosto a diciembre del año 2019, con un nivel de servicio del 84,57%. Cabe mencionar que, dichos tiempos de cambio de formato representan el 33,49% del tiempo total de producción de bidones de agua de mesa, siendo este de 5,66 minutos el cual es menor al takt time de 4,94 minutos, limitando la competitividad de la empresa para poder satisfacer las necesidades de sus clientes. Es por ello que, se planteó la pregunta ¿En qué medida la aplicación de la metodología SMED aumentará el nivel de servicio de una empresa envasadora de bidones de agua de mesa? A partir de la problemática, se tuvo como objetivo general de investigación proponer la aplicación de metodología SMED en la línea de envasado de bidones de agua para mejorar los tiempos de cambio de formato, de esta manera se reducen desperdicios de tiempo durante el proceso productivo acelerando la producción lo cual trae una mejora sustancial en el nivel de servicio de la empresa.

## **II. MARCO TEORICO**

Según Maldonado [1] define a lean manufacturing como la filosofía de mejora de procesos de manufactura basado en eliminar desperdicios y actividades que no agregan valor al proceso, siendo la metodología utilizada para la presente investigación de Single Minute Exchange of Die (SMED), que según Cruelles [2], lo define como aquella metodología que se encarga de mejorar los tiempos de tareas de cambio de máquinas para dar un máximo aprovechamiento a la máquina, reducir costes y aumentar la flexibilidad de los clientes. Además, dicha metodología consta de 4 etapas fundamentales las cuales son: la etapa preliminar, donde se identifican de las operaciones de cambio, la primera etapa, separando las operaciones de cambio en internas o externas, la segunda etapa, que convierte las operaciones internas en externas y por último la

tercera etapa, basada en perfeccionar todas las operaciones internas y externas con el fin de dar un seguimiento de todo lo sucedido en la producción y realizar correcciones en el caso sea necesario. [2] El indicador de nivel de servicio, según Martín-Andino [3] lo define como una medida de atención a los clientes, bajo la ecuación de ciclos sin fallos entre los ciclos totales, es decir representa el porcentaje de la demanda total en unidades que se satisface realmente en una empresa.

En investigaciones realizadas se encontró problemas similares que, en 2019, Stuglik, Gródel y Kajrunajtys [4] en su investigación titulada “The use of the SMED method in improvement of production enterprises” trataron como problema principal los altos tiempos de cambio de formato en una línea de embotellado para llenar botellas de vidrio de bebidas carbonatadas, dichos tiempos fueron de 5 horas y 3 minutos, lo que representó el 19% del total de la línea de producción. Es por ello que se aplicó SMED para la reducción de dichos tiempos identificando al equipo del proyecto a analizar, la línea de producción ya la máquina sujeta a SMED según diagrama de Pareto, se desarrolló la metodología y se aplicaron pruebas piloto para medir la mejora, mediante la cual se redujo a 3 horas y 50 minutos, es decir un ahorro en tiempos de cambio del 77,9%, lo que permitió un aumento de producción y valor agregado.

En 2017, Karam, Liviu, Horea y Veres [5] en su investigación titulada “The contribution of lean manufacturing tools to changeover time decrease in the pharmaceutical industry. A SMED project” identificaron el problema de los altos tiempos de cambio línea de sólidos farmacéuticos, donde el proceso de llenado de botellas tenía 37 procesos de tiempo de cambio con 25,3 horas. Es por ello que, se utilizó la metodología SMED, en donde se realizaron mediciones y análisis de la capacidad para el tiempo de cambio, después se aplicó la mejora, externalizar y realizar pruebas piloto y el manejo visual para guiar y controlar la implementación de dicha metodología, por lo que los operarios son fundamentales en dicha aplicación, logrando reducir los tiempos de cambio a 17,8 horas, disminución del 37%.

En 2016, Lozano, Saenz, Martínez, Jiménez y Blanco [6] en su investigación titulada “Methodology to improve machine changeover performance on food industry based on SMED” trató como principal problema las pérdidas en tiempos de cambio de formato en la fabricación de productos alimenticios, siendo estos 245 minutos para la línea de envasado, con un tiempo medio entre fallas de 112 minutos. Por ello, se empleó la aplicación SMED en las máquinas de envasado, midiendo los tiempos medios entre fallas (MTBF) y tiempos medio para reparar dicha falla (MTTR) mediante diagramas junto con el cálculo de indicadores como la efectividad general del equipo (OEE) y la eficiencia general (GE) para después realizar las comparaciones y medir los porcentajes de reducción sobre todo en la línea de envasado 1, la cual es la más

crítica debido a sus altos tiempos de cambio. Gracias a la aplicación de SMED, se logró alcanzar la meta de 180 minutos de tiempos de cambio con un aumento positivo a 251 minutos de tiempos medios entre fallas y una reducción de 26 minutos en tiempo medio para reparar falla.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1.Métodos**

Se planteó como metodología de la investigación, bajo la filosofía de mejora de lean manufacturing, la metodología SMED mediante la cual se siguieron las 4 etapas fundamentales, donde en la etapa preliminar se identificaron las actividades de cambio de formato durante la producción, seguido de ello en la primera etapa se clasificaron en operaciones externas e internas, posteriormente en la segunda etapa dichas actividades internas se convirtieron en externas y por último, en la tercera etapa se plantearon propuestas de mejora en las actividades de cambio de formato en las máquinas del área de envasado, evidenciando la reducción de tiempo en la misma, gracias al apoyo de medición de tiempos del jefe de producción y operarios los cuales fueron plasmados en diagramas como operario-tiempo y hombre-máquina.

#### **3.2.Materiales**

Se emplearon los instrumentos como las hojas de registro de información de datos de producción, fichas de observación, el cronómetro y video cámaras para hacer las grabaciones respectivas, todo ello para el uso correcto de recolección de la información aplicando las técnicas como la observación, entrevista con el gerente general y operarios y mediciones de tiempo.

### **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se desarrolló la metodología de la investigación, SMED, siguiendo sus 4 etapas fundamentales para la mejora de los tiempos de cambio durante la producción de bidones de agua de mesa.

#### **❖ Etapa preliminar**

En esta etapa se identificaron todas las actividades de cambio de formato, con un total de 11 actividades siendo esto de 83,406 minutos.

#### **❖ Primera etapa: Separación de operaciones internas y externas.**

En esta etapa se clasificaron las actividades de cambio de formato en internas como externas, todo ello mostrado en la siguiente tabla.

**Tabla 1. Separación de actividades internas y externas**

N°	Área	Actividad realizadas	Tiempo (min)	Operación
1	Envasado	Limpieza de los tanques de recirculación de agua	9,284	Interna
2	Envasado	Desmontaje y limpieza tuberías que conectan al motor	9,365	Interna
3	Envasado	Cambiar el pistón de llenado	5,783	Interna
4	Envasado	Montar un adaptador en el vástago de tapado	5,492	Interna
5	Envasado	Cambiar tapas para bidones con boquilla más delgada y pequeña	2,119	Interna
6	Envasado	Arreglar y ordenar las tapas para bidones	2,364	Interna
7	Lavado	Echar dioxclor a envase para limpiar el área de lavado	17,792	Interna
8	Producción	Limpiar área de producción y se ordenan todos los utillajes para iniciar de nuevo la producción	20,575	Externa
9	Producción	Verificación del correcto funcionamiento de los equipos	3,828	Externa
10	Montado	Verificar el estado de los utillajes	3,319	Externa
11	Montado	Seleccionar y ordenar las piezas del caño	3,385	Interna
<b>TIEMPO TOTAL DE CAMBIO DE FORMATO</b>			<b>83,406 min</b>	

Fuente: Elaboración propia

❖ **Segunda etapa: Convertir operaciones internas en externas**

En la siguiente figura se muestran las actividades de cambio internas que, mediante la propuesta de cambio de la metodología SMED, se convirtieron en externas ya que existen aquellas que se pueden realizar con la máquina de llenado en funcionamiento y, disminuyendo tiempos de cambio en aquellas que no se pueden externalizar.

9,28 min	Limpieza de los tanques de recirculación de agua, otras tuberías	Interna	Interna
9,37 min	Desmontar tuberías que conectan al motor para poder limpiar el tanque de recirculación	Interna	Externa
5,78 min	Cambiar el pistón de llenado para bidones con boquilla más pequeña	Interna	Externa
5,49 min	Montar un adaptador en el vástago de tapado para bidones más pequeños	Interna	Externa
2,36 min	Arreglar y ordenar las tapas para bidones	Interna	Externa
2,12 min	Cambiar tapas para bidones con boquilla más delgada y pequeña	Interna	Externa

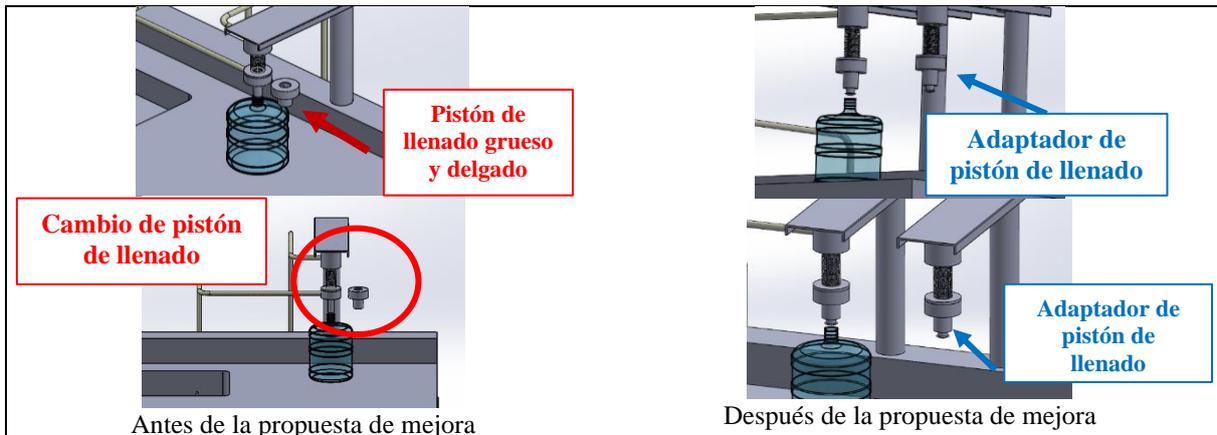
**Figura 1. Propuesta de cambio a actividades externas**

Fuente: Elaboración propia

❖ **Tercera Fase: Perfeccionar todos los aspectos de las operaciones de cambio**

En esta última etapa se plantearon las propuestas de los nuevos mecanismos de cambio para el área de envasado:

- Se montó y ajustó un adaptador en el pistón de llenado, ya que existe un tiempo innecesario al cambiar de pistón cuando se llenan bidones con boquilla más pequeña.



**Figura 2. Propuesta de cambio en vástago de llenado**

Fuente: Elaboración propia

- Se añadió un vástago más en la máquina de llenado y equipo de tapado para acelerar la producción, en las cuales se podrán llenar y tapar, todo ello mostrado en las figuras.



**Figura 3. Máquina de llenado antes y después de la propuesta de mejora**

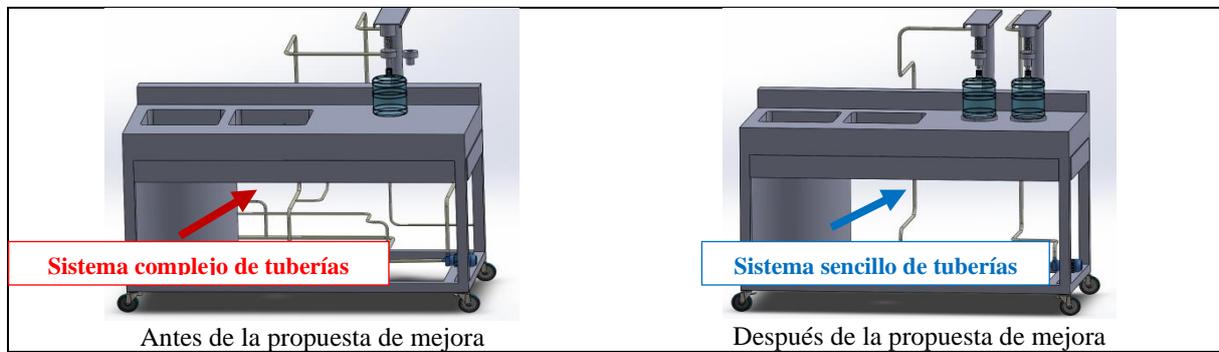
Fuente: Elaboración propia



**Figura 4. Equipo de tapado antes y después de la propuesta de mejora**

Fuente: Elaboración propia

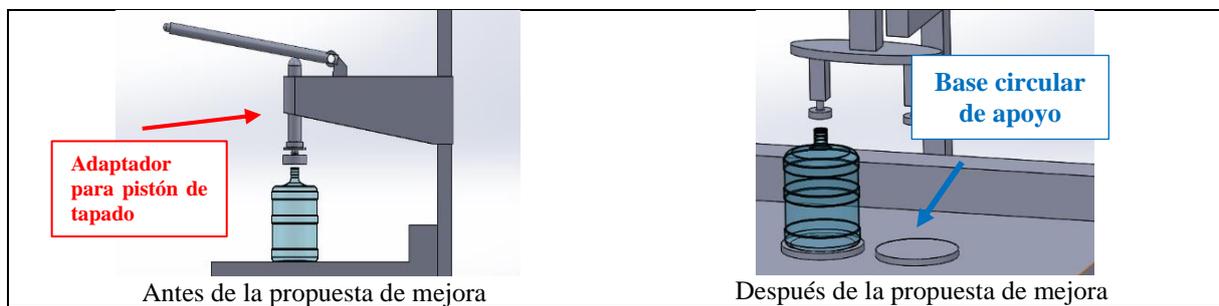
- Se implementó un mecanismo más sencillo y rápido de desmontar y montar tuberías en la máquina de llenado, ya que, aunque dicha actividad no debe realizarse con la máquina en funcionamiento, sí es necesario que se reduzcan dichos tiempos.



**Figura 5. Mejora de sistema de tuberías**

Fuente: Elaboración propia

- Se incorporó una base circular, la cual reemplazó un adaptador más largo en el vástago de tapado para aquellos bidones con un menor tamaño y donde el vástago de tapado no llega al pico del bidón de agua.



**Figura 6. Incorporación de bases circulares en máquina de tapado**

Fuente: Elaboración propia

- Se incorporó un recipiente para las tapas de bidones, separadas por tamaño, a la altura del vástago de tapado con la finalidad de ahorrar tiempo al no desplazarse a una mesa movable para encontrar dichas tapas



**Figura 7. Incorporación de recipiente en máquina de tapado**

Fuente: Elaboración propia

A partir de las propuestas de mejora antes mostradas, se analizó a detalle los nuevos tiempos de cambio de formato en el área de envasado de bidones de agua, necesitando el apoyo del jefe de producción y operarios de la empresa para las mediciones de los mismos. La tabla 2 muestra dichos datos y se estimó un tiempo de cambio de 44,01 minutos. Cabe resaltar que, existen actividades de cambio de formato que se han reducido totalmente gracias a los nuevos mecanismos, como son la actividad 4 y 11.

**Tabla 2. Nuevos tiempos de cambio estimados**

Área	N°	Actividad de cambio de formato	% reducción estimado	Tiempo estimado (min)	Tiempo total (min)
Envasado	1	Desmontar tuberías con sistema más sencillo		5,66	16,86
	2	Limpieza de los tanques de recirculación de agua	39,6%	5,61	
	3	Montar adaptador de llenado		3,49	
	4	Arreglar y ordenar las tapas	Reducción total	-	
	5	Cambiar tapas para bidones	39,6%	1,28	
	6	Incorporación de base circular	80%	0,82	
Lavado	7	Echar dioxclor a envase		10,75	10,75
Producción	8	Limpiar y ordenar área de producción y utillajes	39,6%	12,43	14,74
	9	Verificación del correcto funcionamiento de los equipo		5,66	
Montado	10	Verificar el estado de los utillajes	39,6%	1,66	1,66
	11	Seleccionar las piezas del caño	Reducción total	-	
<b>TOTAL DE TIEMPO DE CAMBIO MEJORADO</b>					<b>44,01 min</b>

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, mediante los siguientes diagramas, se muestra de manera detallada los nuevos tiempos productivos y de preparación en el área de envasado, los cuales fueron comparados con los tiempos actuales para una mejor visualización de la reducción, identificando que durante un lote de 55 unidades, dicha área demanda un nuevo tiempo de 68,99 minutos, la cual se divide entre el proceso de llenado y tapado, con 59,16 minutos y 9,83 minutos respectivamente.

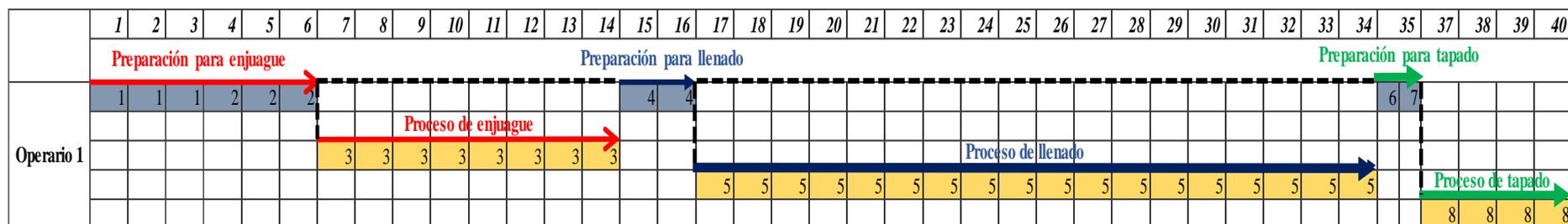
	PROCESO DE LLENADO					PROCESO DE TAPADO			
<b>Antes</b>	Actividad de cambio 1	Actividad de cambio 2	Proceso de enjuague	Actividad de cambio 3	Proceso de llenado	Act. cambio 4	Act. cambio 5	Actividad de cambio 6	Proceso de tapado
<b>Tiempo</b>	561,9 s	557 s	838,7 s	346,9 s	1825,45 s	141,8 s	127,1 s	329,4 s	463,6 s

	PROCESO DE LLENADO					PROCESO DE TAPADO		
<b>Después</b>	Actividad de cambio 1	Actividad de cambio 2	Proceso de enjuague	Actividad de cambio 3	Proceso de llenado	Act. Cambio 4	Act. Cambio 5	Proceso de tapado
<b>Tiempo</b>	339,39 s	336,44 s	838,75 s	209,58 s	1825,45 s	76,79 s	49,42 s	463,6 s

**Figura 8. Comparación de la reducción de tiempos de cambio de formato en área de envasado después de la mejora**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 9. Diagrama Operario-Tiempo mejorado del área de envasado**

Fuente: Elaboración propia

Para un lote de 55 unidades, el nuevo tiempo del área de envasado, incluyendo los nuevos tiempos de cambio de formato se calculó de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \text{Nuevo tiempo de envasado} &= \text{Tiempo de llenado} + \text{Tiempo de tapado} \\
 &= 3549,61 \text{ s} + 589,81 \text{ s} = 59,16 \text{ min} + 9,83 \text{ min} = 68,99 \text{ min}
 \end{aligned}$$

$$\text{Porcentaje de mejora} = \left( 1 - \frac{68,99 \text{ min} * 1}{86,54 \text{ min}} \right) * 100 = 20,28\%$$

Igualmente, para un mismo lote, se realizó el nuevo diagrama hombre-máquina en la llenadora, identificando un nuevo tiempo muerto de la máquina de llenado de 23,65 minutos, que equivale a reducción del 29,02%.

Operación:		Llenadora	Pag. N°	1	de	1
Máquina		Llenadora	Fecha: 19/06/20			
Departamento		Producción	Realizado por: Camila Castañeda C.			
	<b>HOMBRE</b>	<b>Tiempo (s)</b>		<b>MÁQUINA</b>	<b>Tiempo (s)</b>	
1	Transporte a máquina de llenado	237,05		Tiempo muerto	912,97	
2						
3	Desmontar tuberías que conectan al motor	113,10				
4	Limpieza de tuberías	75,42				
5	Montar tuberías que conectan al motor de máquina	150,80				
6						
7	Desmontar tanques de recirculación	112,20				
8	Limpieza de tanques de recirculación	74,80				
9	Montar tanques de recirculación	149,60				
10						
11	Acciona botón para primer enjuague del bidón	235,4		Operación	235,4	
12						
13	Se hecha dióxido de cloro 10% a la segunda tina	125,4		Tiempo muerto	125,4	
14	Acciona botón para segundo enjuague del bidón	240,35		Operación	240,35	
15						
16	Desmontar pistón de llenado	83,83		Tiempo muerto	381,18	
17						
18	Montar pistón de llenado para bidones más pequeños	125,75				
19						
20	Carga el bidón a la altura del vástago de la máquina de llenado	171,6				
21	Acciona el botón de llenado	1654,4		Operación	1654,4	
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						

**Figura 10. Nuevo diagrama hombre máquina de llenado**

Fuente: Elaboración propia

Entonces se tuvo que, el nuevo tiempo de cambio de formato disminuyó a 44,01 minutos según lo detallado en la tabla 2 y, a partir de la siguiente tabla 3, se determinó el porcentaje de reducción de dicho tiempo, siendo este de 47,23%

**Tabla 3. Resultados de la metodología SMED**

	Situación actual	Situación estimada
<b>Tiempo de cambio de formato</b>	83,406 min	44,01 min

Fuente: Elaboración propia

$$\% \text{ reducción de tiempo de cambio de formato} = \left(1 - \frac{44,01 \text{ min} * 1}{83,406 \text{ min}}\right) * 100 = 47,23\%$$

Por tanto, se hizo una comparación de los resultados obtenidos con las investigaciones del rubro de envasado realizadas por Stuglik, Gródel y Kajrunajtys [4, p. 3] y Karam, Liviu, Horea y Veres [5, p. 4], siendo estas las más cercanas al objetivo de la investigación, las cuales aplicaron la metodología SMED siguiendo las 4 etapas fundamentales. Sin embargo, dichas investigaciones se diferenciaron por el tipo de empresa y producto a envasar siendo la reducción de tiempos de cambio de formato de 52,75%, por esta razón, fue aceptable la aplicación SMED en la empresa envasadora de bidones de agua con un porcentaje de reducción de 47,23%.

## **V. CONCLUSIONES**

La aplicación de la metodología SMED en la empresa envasadora, logró reducir los tiempos de cambio de formato a 44,01 minutos, planteando propuestas de mejora con respecto a los cambios de formato en base a nuevos mecanismos de implementación en el área de envasado de bidones de agua. Asimismo, con un lote de 55 unidades, se logró disminuir el tiempo del proceso de llenado, cuello de botella, en 14,06% (de 68,89 minutos a 59,16 minutos) y el tiempo total de producción unitario disminuyó en 12,5%, es decir a 4,95 minutos. Cabe mencionar que, debido a dicho tiempo cercano al takt time de 4,94 minutos, el nivel de servicio de la empresa pasó de 84,43% a 96,73%, por lo cual aumentó la competitividad de la misma.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. Maldonado, *Herramientas y técnicas Lean Manufacturing en sistemas de producción y calidad*, Ciudad de México: Castillos S.A, 2008.
- [2] J. A. Cruelles Ruiz, *Productividad Industrial*, Madrid: Marcombo S.A, 2013.
- [3] R. Martín-Andino, *Gestión de Inventarios y Compras*, Sevilla: MBA, 2006.
- [4] J. Stuglik, Z. Gródel-Szostak y D. Kajrunajtys, «The use of the SMED method in improvement of production enterprises,» de *POLSITA 2019*, Oświęcim.
- [5] A. A. Karam, M. Liviu, R. Horea y C. Veres, «The contribution of lean manufacturing tools to changeover time decrease in the pharmaceutical industry. A SMED project,» de *INTER-ENG 2017*, Tirgu-Mures.
- [6] J. Lozano, J. C. Saenz, E. Martínez, E. Jiménez y J. Blanco, «Methodology to improve machine changeover performance on food industry based on SMED,» *Int J Adv Manuf Technol*, vol. 90, nº 1, pp. 3607-3618, 2016.