

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Reducción del tiempo de cambio de formato en una línea de envasado de botellas

INGE-3094

Proyecto Integrador

Previo a la obtención del Título de:

Ingenieros Industriales

Presentado por:

Alba Belén Gonzabay Rosales

Marlon Josue Montero Cedeño

Guayaquil – Ecuador

Año 2025

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mi familia, muy especialmente a mis padres Freddy Gonzabay y Alba Rosales quienes fueron y han sido el pilar fundamental para que iniciara mi carrera universitaria y que continuara día a día a pesar de cada una de las adversidades que se presentaron durante este largo camino, a mi hermana Jenniffer por ser ese ejemplo de lucha, fortaleza y perseverancia, a mi hermano Joel que al ser mi hermano menor es motivo suficiente para no rendirme y a mi pequeño sobrino Julián, la alegría y motor de toda la familia. A Willians quién ha sido mi inquebrantable apoyo desde el día uno que decidí iniciar esta nueva carrera, quien con su paciencia y comprensión fue posible resistir cada desvelo, este sacrificio ha sido nuestro.

Este logro es por y para todos ustedes, esto es sólo el inicio de una nueva etapa.

Con profundo amor.

Alba Belén Gonzabay Rosales

Dedicatoria

De manera muy especial, dedico el presente proyecto de materia integradora a mi mamá, Jazmín Montero, por su amor incondicional, su paciencia y su constante apoyo. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudé, y por ser el pilar fundamental que me ha permitido avanzar y alcanzar esta meta.

Asimismo, dedico este trabajo a mi familia, especialmente a mis hermanos, tías y abuela, quienes siempre han sido mi principal fuente de apoyo, motivación y fortaleza a lo largo de mi formación universitaria, y a mis amigos, quienes, con su compañía, palabras de aliento y confianza hicieron más llevadero este camino

Con profundo amor y gratitud.

Marlon Josué Montero Cedeño

Agradecimientos

Agradezco profundamente a Dios por permitirme culminar este grado. Un camino lleno de retos, pero su guía me dio la valentía para llegar con éxito a la meta.

Mamá, gracias por ser el motor que me impulsó a buscar la excelencia y por sostenerme con tus consejos.

Papá, gracias por tu sacrificio y por forjar mi carácter ante la adversidad. A mis hermanos, de sangre y adoptivos, gracias por recordarme, entre risas y bromas, que rendirse no era una opción. A mi amor, gracias por no dejarme sola, por creer en mí y por celebrar este triunfo como tuyo.

Mi gratitud a mi alma mater, la Escuela Superior Politécnica del Litoral, por las enseñanzas que forjaron mi profesión, a mi tutora María Laura Retamales por su valiosa dirección, a la empresa por la confianza y las facilidades brindadas para el desarrollo de este trabajo. A mis amigos, hicieron este viaje inolvidable, y a mi compañero Marlon Montero, por la complicidad y el esfuerzo compartido en este proyecto de tesis.

Alba Belén Gonzabay Rosales

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, por permitirme llegar hasta este momento, por guiar mis pasos y darme la fortaleza necesaria para superar cada desafío en este camino académico.

A mamá, por su enorme sacrificio, amor incondicional y apoyo constante, que han sido mi mayor inspiración.

A mis hermanos, tías y abuela, gracias por estar siempre presentes, por su aliento, comprensión y motivación en cada etapa de este proceso.

A mi amada universidad, por ofrecerme una experiencia académica enriquecedora, llena de aprendizajes y momentos que han marcado profundamente mi crecimiento personal y profesional. A mis profesores, por compartir su conocimiento y motivación.

A la empresa que me brindó la oportunidad de realizar este proyecto de tesis. Y, finalmente, a mi compañera Belén Gonzabay, por su compromiso, dedicación y excelente trabajo en equipo.

Marlon Josué Montero Cedeño

Declaración Expresa

Nosotros Marlon Josué Montero Cedeño y Alba Belén Gonzabay Rosales acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 17 de octubre del 2025.



Alba Belén Gonzabay
Rosales



Marlon Josué Montero
Cedeño

Evaluadores

MSc. María Fernanda López S.

Profesor de Materia

MSc. María Laura Retamales G.

Tutor de proyecto

Resumen

El presente proyecto tuvo como objetivo reducir los elevados tiempos de cambio de formato en una máquina llenadora de botellas de una empresa cervecera ubicada en Guayaquil. Se aplicó la metodología DMAIC (Definir, medir, analizar, mejorar y control) de Lean Six Sigma, permitiendo desarrollar el proyecto estructuradamente, desde la definición del problema hasta el control de las mejoras implementadas.

Durante la fase de medición se identificaron variables del proceso y se recolectaron datos en cada cambio de formato. Posteriormente, en la etapa de análisis, se evaluaron los datos de forma cuantitativa y cualitativa, identifican las causas raíz de los retrasos. Con base en estos resultados, se implementaron soluciones orientadas a la estandarización y reducción del tiempo, entre las que destacan la aplicación de SMED (Cambio de formato en un solo dígito de minutos), la implementación de gestión visual mediante códigos QR, la unificación de piezas mecánicas para disminuir ajustes y el desarrollo de un Poka Yoke que facilita el trabajo del operador y previene errores.

Se redujo el tiempo de cambio de formato de 135 a 100 minutos. Adicionalmente, el proyecto generó impactos positivos en los tres pilares de la sostenibilidad: reducción de 0,3 hectolitros de agua, eliminación de incidentes de seguridad y un ahorro anual estimado de \$14.000.

Palabras claves: DMAIC, Six Sigma, SMED, gestión visual, QR, Poka Yoke, Cervecería.

Abstract

This project aimed to reduce the high format changeover times on a bottle filling machine at a brewery located in Guayaquil. The DMAIC methodology (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control) from Lean Six Sigma was applied, allowing the project to be developed in a structured manner, from problem definition to controlling the implemented improvements.

During the measurement phase, process variables were identified and data was collected at each format change. Subsequently, in the analysis stage, the data was evaluated both quantitatively and qualitatively, identifying the root causes of delays. Based on these results, solutions aimed at standardization and time reduction were implemented, including the application of SMED, visual management through QR codes, the unification of mechanical parts to reduce adjustments, and the development of a Poka Yoke to facilitate the operator's work and prevent errors.

The format change over time was reduced from 135 to 100 minutes. Additionally, the project generated positive impacts on the three pillars of sustainability: a reduction of 0.3 hectoliters of water, the elimination of safety incidents, and an estimated annual savings of \$14,000.

Keywords: *DMAIC, SMED, visual management, QR, Poka Yoke, Brewery.*

Indices general

Resumen.....	I
Abstract	II
Abreviatura	VII
Simbología	VIII
Índice de figuras.....	IX
Índice de tablas	XI
1. Introducción	1
1.1. Descripción del problema.....	2
1.2. Justificación del problema.....	4
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. Marco teórico	5
1.4.1. Lean Six Sigma.....	5
1.4.2. Metodología DMAIC.....	6
1.4.3. Metodología SMED	8
1.4.4. Proceso de elaboración de cerveza	9
1.4.5. Proceso de envasado de cerveza y cambios de formato	10
2. Metodología	13
2.1. Definición.....	13
2.1.1. Situación actual.....	13

2.1.2.	Diagramación del proceso (SIPOC).....	14
2.1.3.	OTIDA	16
2.1.4.	Necesidades del cliente (VOC).....	17
2.1.5.	Críticos para la calidad.....	18
2.1.6.	Definición de la variable Y	19
2.1.7.	Definición del problema	20
2.1.8.	Métricas de sostenibilidad.....	21
2.2.	Medición.....	21
2.2.1.	Plan de recolección de datos	21
2.2.2.	Estratificación de datos	23
2.2.3.	Prueba de Normalidad.....	23
2.2.4.	Análisis de estabilidad	24
2.2.5.	Análisis de capacidad.....	25
2.3.	Análisis.....	26
2.3.1.	Lluvia de ideas	26
2.3.2.	Diagrama Ishikawa	27
2.3.3.	Matriz Causa-Efecto	28
2.3.4.	Diagrama de Pareto.....	29
2.3.5.	Matriz Impacto-Esfuerzo	30
2.3.6.	Plan de Verificación de causas	31
2.3.7.	Cinco Porqués	32
3.	Resultados y análisis	37
3.1.	Mejora	37

3.1.1.	Posibles soluciones	37
3.1.2.	Análisis financiero inicial	38
3.1.3.	Matriz Impacto – Esfuerzo.....	38
3.1.4.	Plan de implementación.....	39
3.1.5.	Implementación de soluciones.....	40
3.1.6.	Desarrollo del procedimiento estándar (SOP) para cambios de formato y aplicar la herramienta SMART SKILL. Solución S2.	40
3.1.7.	Instalar una ducha de enjuague junto al coronador. Solución S3 – 2.	45
3.1.8.	Implementación de un Poka Yoke en la máquina llenadora. Solución S4.....	46
3.2.	Control de soluciones implementadas.....	47
3.2.1.	Control de implementación de solución S2 (SOP)	47
3.2.2.	Control de implementación de la solución S3-2. (Integración de ducha y coronador).....	48
3.2.3.	Control de implementación de la solución S4 (Poka Yoke).....	48
3.3.	Resultados y análisis	49
3.3.1.	Carta de control del antes y después de la implementación de las mejoras.....	50
3.3.2.	Análisis de capacidad del antes y después de la implementación de mejora.....	51
3.4.	Justificación económica	52
3.5.	Plan de control.....	53
3.6.	Plan de reacción	55
4.	Conclusiones y recomendaciones	58
4.1.	Conclusiones	58
4.2.	Recomendaciones.....	59

Referencias..... 60

Abreviatura

AV	Agrega Valor
CTQ	Critical to Quality
DMAIC	Define, Measure, Analysis, Improve and Control
JIT	Just in Time
NAV	No Agrega Valor
NAVN	No Agrega Valor, pero es Necesario
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OPI	Operational Performance Indicator
OTIDA	Operación, Transporte, Inspección, Demora y Almacenamiento
PDSA	Planificar – Hacer – Estudiar – Actuar
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers
SMED	Single-Minute Exchange of Die
TPS	Toyota Production System
VOC	Voice of Customer

Simbología

Min	Minutos
H	Horas
%	Porcentaje

Índice de figuras

Figura 1: <i>Serie de tiempo en cambios de formato en una línea de envasado</i>	3
Figura 2: <i>Mapa de procesos de la empresa</i>	14
Figura 3: <i>SIPOC de la empresa</i>	15
Figura 4: <i>Etapas del proceso de empaquetado</i>	15
Figura 5: <i>Diagrama OTIDA del proceso de cambio de formato</i>	16
Figura 6: <i>Actividades AV, NAV, NAVN del proceso de cambio de formato</i>	17
Figura 7: <i>Voz del cliente</i>	18
Figura 8: <i>Critical to Quality (CTQ)</i>	19
Figura 9: <i>Diagrama de estratificación</i>	23
Figura 10: <i>Gráfica de distribución de datos observados</i>	24
Figura 11: <i>Gráfica de control para tipo de cambio de formato</i>	25
Figura 12: <i>Análisis de capacidad por tipo de cambio de formato</i>	26
Figura 13: <i>Lluvia de ideas</i>	27
Figura 14: <i>Diagrama Ishikawa de los altos tiempos de cambio de formato</i>	28
Figura 15: <i>Matriz Causa-Efecto</i>	29
Figura 16: <i>Diagrama de Pareto</i>	30
Figura 17: <i>Matriz Impacto-Esfuerzo</i>	30
Figura 18: <i>Esquema 5 porqué de la causa X3</i>	33
Figura 19: <i>Esquema 5 porqué de la causa X4 y X5</i>	33
Figura 20: <i>Esquema 5 porqué de la causa X9</i>	34
Figura 21: <i>Esquema 5 porqué de la causa X9</i>	34
Figura 22: <i>Posibles soluciones de las causas raíz</i>	37

Figura 23: <i>Matriz de priorización de soluciones Impacto – Esfuerzo</i>	39
Figura 24: <i>Resumen de actividades internas y externas</i>	42
Figura 25: <i>¿Qué actividades podrían ser externas?</i>	42
Figura 26: <i>Procedimiento estándar de los cambios de formato (SOP)</i>	43
Figura 30: <i>Implementación d</i>	47
Figura 31: <i>Operador escaneando el QR</i>	47
Figura 32: <i>Registros de los tiempos de cambio de formato después de la unificación de ducha junto al coronador</i>	48
Figura 33: <i>Control visual</i>	49
Figura 34: <i>Serie de tiempo de los cambios de formato antes y después de la implementación de mejora</i>	50
Figura 35: <i>Carta de control</i>	51
Figura 36: <i>Informe de capacidad del proceso de antes y después</i>	52
Figura 37: <i>Indicadores de sostenibilidad</i>	53
Figura 38: <i>Plan de reacción</i>	56

Índice de tablas

Tabla 1: <i>Tabla de resumen del OTIDA del proceso de cambio de formato</i>	17
Tabla 2: <i>Plan de recolección de datos</i>	22
Tabla 3: <i>Plan de verificación de causas potenciales</i>	31
Tabla 4: <i>Verificación de causas X3, X4, X5 Y X9</i>	32
Tabla 5: <i>Análisis financiero inicial por solución</i>	38
Tabla 6: <i>Plan de implementación de soluciones</i>	40
Tabla 7: <i>Análisis SMED del proceso</i>	41
Tabla 8: <i>Plan de control</i>	54

Capítulo 1

1. Introducción

La eficiencia operativa es un elemento clave en la competitividad de las organizaciones industriales. En un entorno productivo cada vez más exigente, las empresas buscan optimizar sus procesos para reducir desperdicios, incrementar la productividad y garantizar la calidad del producto final (Gutiérrez, H., & De la Vara, R., 2013). Dentro de este contexto la industria cervecera tiene el reto de mantenerse con un volumen de producción elevado para poderse enfrentar a grandes demandas en un mercado competitivo.

El presente proyecto se desarrolló en una planta cervecera ubicada en Guayaquil dedicada a la elaboración y distribución de cervezas, en donde a más del área de producción también tiene el área de envasado, el cual tiene gran importancia dentro de su cadena de valor sin embargo dentro de los procesos desarrollados como el despaletizado, desencajonado, lavado, inspección, llenado y sellado, pasteurizado, etiquetado y nuevamente encajonado hay un problema en el cual se centró la investigación y es precisamente en la máquina llenadora puesto que el proceso presenta demoras significativas durante cada cambio de formato cuando se va a cambiar el tipo de envase de cerveza.

En la actualidad, no existe un tiempo estándar de los tiempos de cambio de formato generan pérdidas superiores al 8% del tiempo productivo total afectando directamente el rendimiento de la línea y en el indicador OPI (Indicador de rendimiento operacional), el cual evalúa la eficiencia global de los equipos productivos (Rodríguez, C., & León, V., 2021).

Para reducir los tiempos de cambio de formato en la línea de envasado de botellas fue necesario aplicar metodologías de Lean Manufacturing como la técnica SMED (Cambio de matriz en un minuto) la cual ayudó a encontrar soluciones a las causas raíz del problema.

Aplicación de un sistema de Poka Yoke que permita prevenir errores en el comienzo de la producción, es decir al momento de hacer las calibraciones o ajustes en la máquina para el nuevo producto (George, M. L., Rowlands, D., Price, M., & Maxey, J., 2005) La aplicación de un procedimiento estandarizado, la automatización de procesos y la mejora del indicador OPI incrementaron la tasa de producción y optimizaron el uso de los recursos. Asimismo, estas acciones fortalecieron la organización al orientarla hacia la excelencia operativa, aumentaron su competitividad en el mercado, incrementaron las ventas y generaron un impacto positivo en la rentabilidad de la empresa.

1.1. Descripción del problema

La empresa en donde se desarrolló este proyecto es una cervecería industrial reconocida a nivel nacional e internacional, dedicada a la elaboración, embotellamiento, así como también la distribución de cervezas ya sea en diferentes botellas con distintos volúmenes o cervezas enlatadas.

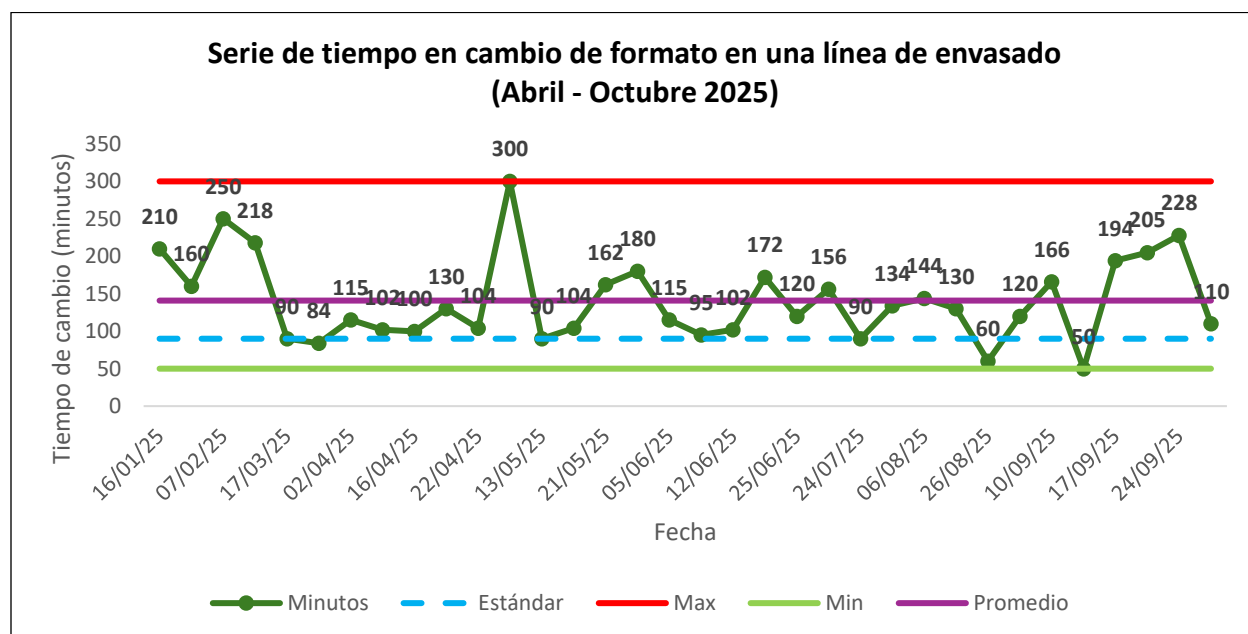
Existen diferentes máquinas dentro de la línea donde se ejecuta el llenado, una enfocada únicamente a las botellas y otra a las latas, el problema que se analizó es el proceso de cambio de formato en la máquina llenadora de botellas, la cual presentó tiempos elevados de ejecución cada que existe un cambio de formato entre diferentes presentaciones o tamaños de envase.

El proceso de cambio de formato incluye diferentes actividades como ajustes mecánicos, calibración de parámetros, limpieza de máquinas o componentes, sanitización de máquinas y actividades que realizan operadores de la empresa sin un procedimiento completamente estandarizado lo cual presentaba pérdidas del tiempo productivo de la empresa que superaban el 8% del tiempo operativo total, afectando el rendimiento de la línea y reduciendo el valor del indicador OPI (Indicador de rendimiento operacional).

En la Figura 1 se puede evidenciar la serie de tiempo de los cambios de formato de la maquina envasadora de botella en un periodo de abril a octubre del presente año (2025), cabe mencionar que los cambios mencionados se refieren a la transición entre botellas de diferentes tamaños.

Figura 1

Serie de tiempo en cambios de formato en una línea de envasado



1.2. **Justificación del problema**

La reducción de los tiempos de cambio de formato en la línea de envasado de botellas de la planta cervecera fue crucial para mejorar la competitividad y eficiencia operativa de la empresa. Este problema, que se presentó de manera recurrente, generaba tiempos improductivos durante los cambios de formato, limitaba el aprovechamiento de los recursos y reducía la capacidad de respuesta ante demandas del mercado.

Resolver este problema fue importante porque, al reducir estos tiempos, la empresa logró incrementar su capacidad de producción, optimizando el uso de los recursos humanos, técnicos y materiales disponibles. Esto no solo mejoró el flujo de trabajo y la estabilidad operativa, sino que también incrementó el tiempo efectivo de operación, lo que contribuyó a una mayor rentabilidad. Además, la mejora de los tiempos de cambio se tradujo en una producción más consistente y en la mejora de la calidad del producto final. En resumen, abordar la reducción de los tiempos de cambio no solo optimizó los recursos, sino que también fortaleció la capacidad de la empresa para mantenerse competitiva en el mercado, mejorando tanto la eficiencia interna como la calidad del producto que ofrece.

1.3. **Objetivos**

1.3.1. **Objetivo general**

Reducir el tiempo promedio de cambio de formato en la línea de envasado de botellas de 135 a 90 minutos en un período de cuatro meses mediante la aplicación de la metodología DMAIC, la técnica SMED y herramientas de Lean Six Sigma.

1.3.2. Objetivos específicos

- Medir los tiempos actuales de cambio de formato y los niveles de productividad de la línea, recolectando y analizando datos operativos que permitan determinar la magnitud del problema.
- Analizar las causas raíz que generan demoras en el proceso de cambio de formato mediante herramientas de calidad como Pareto, Ishikawa y 5 ¿Por qué?, con el fin de identificar los factores críticos que afectan la eficiencia.
- Implementar mejoras enfocadas en la reducción de tiempos de cambio de formato, aplicando la técnica SMED y herramientas de Lean Manufacturing.
- Controlar los resultados obtenidos mediante la implementación de indicadores de desempeño y estandarización del proceso, asegurando la sostenibilidad de la mejora alcanzada.

1.4. Marco teórico

1.4.1. Lean Six Sigma

“El concepto Lean encuentra su origen en Estados Unidos, gracias a Henry Ford y Frederick Taylor, quienes son considerados pioneros de productividad y reducción de desperdicio, debido a la implementación de mejoras del sector automovilístico” (Marcos Nathan - Gerges González, 2023).

El Lean Six Sigma es una metodología de mejora continua que combina los principios de Lean Manufacturing y Six Sigma con el fin de reducir desperdicios, variabilidad y defectos en los procesos productivos (George, M. L., Rowlands, D., Price, M., & Maxey, J., 2005). Lean se enfoca en eliminar actividades que no agregan valor, como esperas, movimientos innecesarios o

reprocesos, este concepto adquiere un significado total, en el área de producción el cual fue desarrollado por el fabricante de Toyota en un sistema conocido como JIT (Justo a tiempo), mientras que Six Sigma, establecido en 1986 por un ingeniero de la empresa Motorola, utiliza herramientas estadísticas para controlar la variación y mejorar la calidad (Gutiérrez, H., & De la Vara, R., 2013).

La integración de ambos enfoques permite alcanzar procesos más eficientes y estables, apoyados en el ciclo DMAIC, el cual orienta la resolución estructurada de problemas (Antony, J., & Gupta, S., 2019). En el sector cervecero, Lean Six Sigma contribuye a optimizar el envasado, reducir tiempos improductivos y mejorar la productividad y sostenibilidad operacional.

1.4.2. Metodología DMAIC

La metodología DMAIC es una herramienta estructurada y sistemática utilizada en proyectos de mejora continua dentro del enfoque Lean Six Sigma. Esta metodología tiene como objetivo principal analizar procesos existentes, identificar oportunidades de mejora y aplicar soluciones sostenibles, todo a través del uso de datos y la reducción de la variabilidad. A diferencia de otros modelos como el ciclo PDSA, DMAIC se caracteriza por su énfasis en el análisis previo antes de proponer cambios, lo que permite una implementación más sólida y basada en evidencias (Monday, 2022).

La primera etapa de DMAIC es “Definir”. En esta fase, se establece claramente los objetivos del proyecto, el alcance de este, y se identifica los actores clave involucrados. También se puede realizar un mapeo del proceso actual y aplicar herramientas como el análisis de stakeholders o análisis financiero, con el fin de formular una declaración de objetivos. Este paso

es esencial para asegurar que todos los involucrados comprendan el propósito del proyecto y trabajen alineados hacia un mismo resultado.

La segunda etapa es “Medir”. Aquí se identifica los indicadores clave de calidad o seguridad que servirán para evaluar el desempeño del proceso. Es necesario recopilar datos confiables que permitan establecer una línea base. Estos datos deben ser visualizables mediante herramientas estadísticas como histogramas, diagramas de Pareto o gráficos de control, lo que facilitará el análisis en etapas posteriores. Esta fase garantiza que cualquier mejora se base en información cuantitativa concreta.

La tercera etapa es “Analizar”. En este punto, se integran los conocimientos del proceso con los datos recopilados para identificar las causas raíz de los problemas. Las herramientas más utilizadas incluyen diagramas causa-efecto (Ishikawa), análisis de los cinco porqués, histogramas y otros métodos visuales. El propósito es comprender por qué ocurren los errores, desviaciones o desperdicios, y validarlos con datos reales antes de proceder a proponer soluciones.

La cuarta etapa, “Mejorar”, consiste en diseñar e implementar cambios enfocados en eliminar las causas raíz previamente identificadas. Es fundamental que los miembros del equipo participen activamente en la propuesta de soluciones y mantengan una comunicación clara. Las intervenciones pueden variar desde cambios tecnológicos hasta ajustes en el flujo del proceso.

Se recomienda priorizar soluciones estructurales por encima de aquellas que dependen únicamente de la memoria humana, como capacitaciones o recordatorios. El enfoque de Kaizen,

que significa “mejora continua”, también es relevante en esta etapa, ya que promueve la participación de todos los niveles de la organización.

Finalmente, la etapa de “Controlar” tiene como objetivo asegurar la sostenibilidad de las mejoras implementadas. Para ello, se debe desarrollar un plan de control del proceso, asignando responsables y estableciendo métodos de seguimiento. Es importante mantener a todo el equipo informado sobre los indicadores de desempeño y responder de forma oportuna ante cualquier desviación. El uso de gráficos de control puede ayudar a detectar variaciones futuras y mantener la estabilidad del proceso a largo plazo.

1.4.3. Metodología SMED

La metodología SMED (Cambio de matriz en 10 minutos) fue desarrollada por el ingeniero japonés Shigeo Shingo (1909-1990) durante la década de 1950 como parte del sistema de producción de Toyota Motor Corporation (TPS). Shingo, considerado uno de los padres del TPS junto a Taiichi Ohno, transformó las ideas de Ohno en herramientas concretas, siendo SMED una de las más representativas en la mejora de la eficiencia industrial (Espín Carbonell, 2013).

La técnica SMED se implementa siguiendo cinco pasos sistemáticos:

Observar y comprender el proceso de cambio de lote: se analiza detenidamente el proceso desde la última pieza válida de un lote hasta la primera del siguiente, usando grabaciones para capturar movimientos, y se forma un equipo multidisciplinar que documenta las actividades y los tiempos.

Identificar y separar operaciones internas y externas: se clasifican las actividades en internas (requieren máquina parada) y externas (pueden efectuarse con la máquina en marcha), una distinción clave para optimizar el cambio.

Convertir operaciones internas en externas: mediante la reorganización y preparación previa, se transforman actividades que antes causaban parada en actividades que se realizan sin detener la máquina, reduciendo así el tiempo de inactividad.

Refinar todos los aspectos de la preparación: optimización paralela de actividades, mejoras en herramientas de sujeción, reducción de ajustes y organización de útiles para acortar al máximo el tiempo de cambio.

Estandarizar el nuevo procedimiento: se documenta y formaliza el método optimizado mediante guías, esquemas o vídeos, asegurando que la mejora sea repetible y sostenible en el tiempo.

1.4.4. Proceso de elaboración de cerveza

El mosto es el resultado de la disolución de los componentes de la malta, el lúpulo y el agua, que, mediante reacciones fisicoquímicas, generan una solución rica en azúcares fermentables para la fermentación alcohólica. Durante la **maceración**, las enzimas de la malta convierten los almidones en azúcares simples y descomponen proteínas para producir aminoácidos esenciales para la levadura. El mosto luego pasa por **filtración** en una cuba filtro, donde se separan los sólidos insolubles.

Posteriormente, en la **ebullición**, se esteriliza el mosto, se isomerizan los ácidos del lúpulo para aportar amargor y se concentra el líquido, asegurando estabilidad microbiológica y propiedades sensoriales. Finalmente, el mosto hervido se somete a **sedimentación** y se enfría

rápidamente mediante intercambiadores de placas, reduciendo su temperatura antes de la inoculación de levadura (BWS, 2023).

Una vez completada la fermentación y maduración, el producto pasa por un proceso de filtración para garantizar claridad y estabilidad, seguido del envasado, etapa en la que se concentra la mayor automatización y control en la industria cervecera.

1.4.5. Proceso de envasado de cerveza y cambios de formato

El proceso de envasado de cerveza forma parte de la etapa final de los procesos de producción de la cerveza, cumple un papel fundamental que permite conservar la calidad, inocuidad y propiedades sensoriales del producto final en diferentes presentaciones que luego serán comercializadas hasta llegar al consumidor final. Después de pasar por la etapa de fermentación, maduración y filtración de la cerveza pasa al área de envasado donde también consta con una serie de procesos operaciones como son llenado, sellado, pasteurizado, etiquetado y empaquetado (BWS, 2023).

El tipo de envase dependerá siempre de la demanda de mercado existente, ya puede ser en lata, botella de vidrio o barril. Después del proceso de lavado y desinfección de las botellas, éstas ingresan a la máquina llenadora la cual tiene la capacidad de producción de 500 (unidades/minuto) controlando la presión y temperatura para evitar perder el gas y espuma. Por la misma máquina los envases son sellados, posteriormente salen de la llenadora para ser etiquetados y codificados pasando por sistema de inspección que finalmente permita el empaquetado una vez que el producto esté listo para su distribución.

En la industria dedicada a la producción y elaboración de cerveza, la demanda es bastante diversa lo cual implica variedad en cuanto a los formatos y presentaciones, de tal forma que las líneas de envasado deben adaptarse a los distintos cambios ya sea de bebida o de envase. Este tipo de ajuste operativo es lo que se conoce como cambio de formato. “El **cambio de formato** es el conjunto de actividades necesarias para modificar los parámetros y componentes de una máquina —por ejemplo, guías, válvulas, tornillos o alturas de llenado— con el fin de producir una presentación diferente del mismo producto” (Shingo, 1985).

El cambio de formato no es un proceso que transforme el producto, pero si es una actividad necesaria dentro del proceso de producción, aunque esta implique que se produzcan tiempos improductivos, cada que la línea debe ajustarse a la producción de un nuevo lote la máquina llenadora debe detenerse lo cual afecta la disponibilidad del equipo, así como también el indicador de desempeño (OEE u OPI).

Capítulo 2

2. Metodología

Considerando la aplicación de la metodología DMAIC en este proyecto, se presenta a continuación las etapas que la integran, comenzando por la etapa de definición.

2.1. Definición

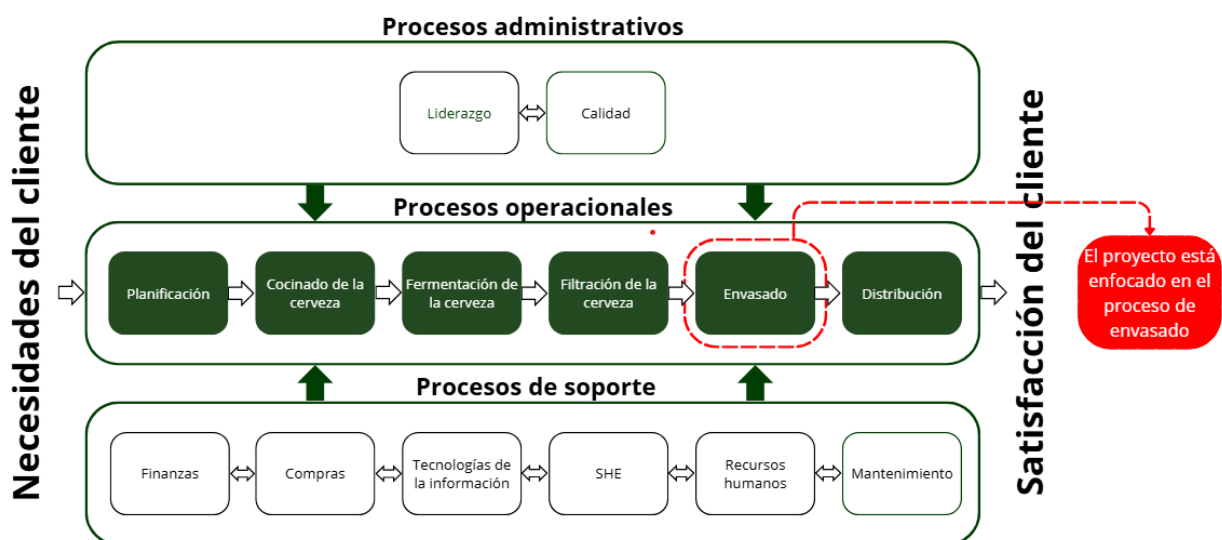
Durante la etapa inicial, se detallaron los antecedentes de la empresa en la que se realizó el proyecto, proporcionando contexto sobre sus actividades, productos y clientes. Posteriormente, se mapearon las actividades asociadas a la problemática y, a través de entrevistas con los clientes clave de los procesos, se identificaron sus necesidades, lo que permitió establecer correctamente la definición del problema.

2.1.1. Situación actual

Mediante el macroproceso de la empresa se logró determinar cuáles son los procesos principales que se gestionan, clasificándolo en estratégicos, operativos y de soporte, además de conocer la interrelación entre ellos. La Figura 2 se muestra el macroproceso correspondiente, señalando que el análisis se centra en el proceso de envasado.

Figura 2

Mapa de procesos de la empresa



2.1.2. Diagramación del proceso (SIPOC)

Con el propósito de comprender de manera precisa la relación entre el proceso y la problemática principal, se procedió a construir el diagrama SIPOC de la empresa tal cual como se muestra en la Figura 3, el cual permitió reconocer las actividades involucradas en el proceso productivo, junto con sus respectivas entradas y salidas. Asimismo, se identificó que el área objeto de estudio fue únicamente el área de empaquetado (Figura 4), la cual comprende diversas etapas por las que pasa la cerveza hasta convertirse en el producto final, listo para ser distribuido a los distintos puntos de venta.

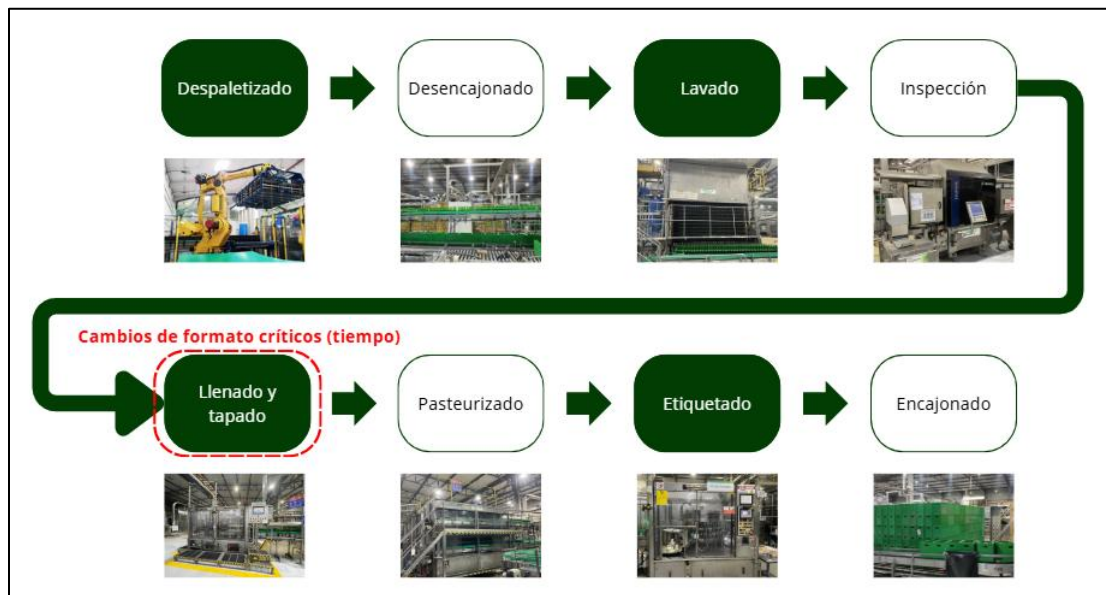
Figura 3

SIPOC de la empresa

Proveedores	Entradas	Proceso	Salidas	Cientes
Departamento de gestión de producción Departamento de logística Departamento de ventas	Plan maestro de producción Pronóstico de ventas Inventario de materias primas y materiales de empaque	Planificación	Programa de producción Órdenes de fabricación Requerimientos de materia prima	Área de cocción
Proveedores de malta, lúpulo y arroz Departamento de planificación Control de calidad	Malta Agua Lúpulo Arroz	Cocción de la cerveza	Mosto	Área de fermentación
Área de cocción Control de calidad	Mosto Levadura Aire	Fermentación de la cerveza	Cerveza madura	Área de filtración
Área de fermentación Control de calidad	Cerveza madura Tierra de diatomeas	Filtración de la cerveza	Cerveza brillante	Área de envasado
Área de filtración Proveedores de empaques y etiquetas	Cerveza brillante Botellas o latas Tapas, etiquetas y cajas	Envasado	Producto terminado (empaquetado y codificado)	Almacén de producto terminado y área de distribución
Área de envasado Logística interna Transporte tercerizado	Producto terminado Rutas de entrega Pedidos de clientes	Distribución	Producto entregado al cliente final o distribuidor	Distribuidores, supermercados, bares y clientes finales

Figura 4

Etapas del proceso de empaquetado



2.1.3. OTIDA

Tras analizar los macroprocesos de la empresa y las etapas del área de envasado, se diagramaron y enumeraron todas las actividades del cambio de formato. Luego, se clasificaron según su aporte de valor en: actividades que agregan valor (VA), que no agregan valor (NAV) y que no agregan valor, pero son necesarias (NAVN). Esta clasificación se integró en un análisis OTIDA, que contempla Operación, Transporte, Inspección, Demora y Almacenamiento.

La Figura 5 muestra las actividades bajo este esquema y permitió identificar las que no agregan valor, evidenciando oportunidades de mejora tal como se muestra en la Figura 6. Estas serán el foco del análisis para determinar las causas de los tiempos prolongados de cambio de formato y reducir la duración total del proceso mediante herramientas de mejora continua.

Figura 5

Diagrama OTIDA del proceso de cambio de formato

N°	Descripción	AV/NAV/NAVN	○	□	◻	➡	D
			OPERACIÓN	INSPECCIÓN	OPERACIÓN - INSPECCIÓN	TRANSPORTE	ESPERA
1	Ajuste de calderín	☑ AV			●		
2	Retiro de guías	☑ AV	●				
3	Retiro de guías del área	● NAV				●	
4	Ajuste de altura de calderín	☑ AV			●		
5	Transporte de carrito de limpieza	● NAV				●	
6	Llenado de carrito	● NAVN	●				
7	Limpieza de máquina llenadora con	● NAVN	●				
8	Jabonado de máquina llenadora con	● NAVN	●				
9	Transporte de carrito de limpieza	● NAV				●	
10	Cepillado de máquina llenadora	● NAVN	●				
11	Limpieza de máquina con manguera	● NAVN	●				
12	Cepillado de guardas de seguridad	● NAVN	●				
13	Ajuste de banda transportadora	● NAV			●		
14	Colocación de guías de nuevo formato	☑ AV	●				
15	Ajuste de tornillos sin fin	☑ AV	●				
16	Ajuste de válvula limpiadora de botella	☑ AV			●		
TOTAL			9	0	4	3	0

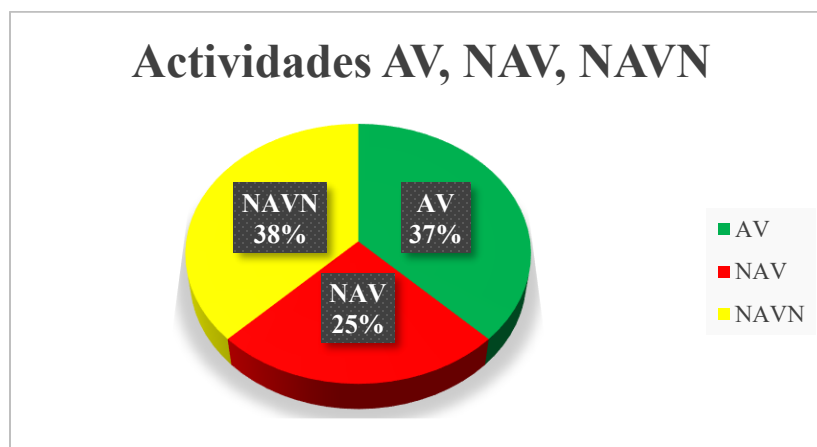
Tabla 1

Tabla de resumen del OTIDA del proceso de cambio de formato

Resumen	
Operación	9
Transporte	0
Inspección	4
Espera	3
Almacenamiento	0
Total	16

Figura 6

Actividades AV, NAV, NAVN del proceso de cambio de formato



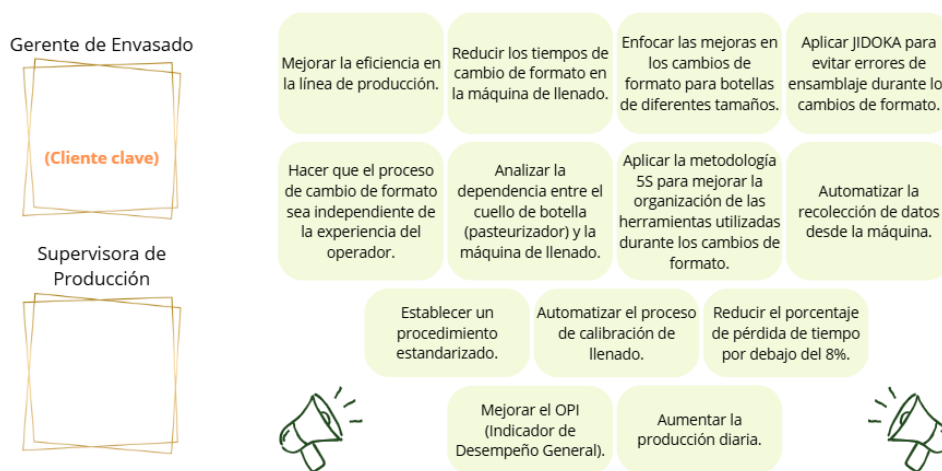
2.1.4. Necesidades del cliente (VOC)

Después de que se analizaron los macroprocesos de elaboración de cerveza y las actividades del área de empaquetado, se identificaron los actores involucrados para comprender sus necesidades y la problemática del proceso. La Figura 7, correspondiente a la voz del cliente

interno, recoge las expectativas del gerente y la supervisora de producción, quienes requerían reducir los tiempos de cambio de formato en la máquina llenadora y mejorar la eficiencia de la línea mediante un proceso más ágil, estandarizado y menos dependiente del operador. Así mismo, se planteó implementar herramientas Lean como 5S, Jidoka y SMED, y automatizar la recolección de datos y la calibración, con el objetivo de disminuir pérdidas por debajo del 8 %, mejorar el indicador OPI y aumentar la producción diaria.

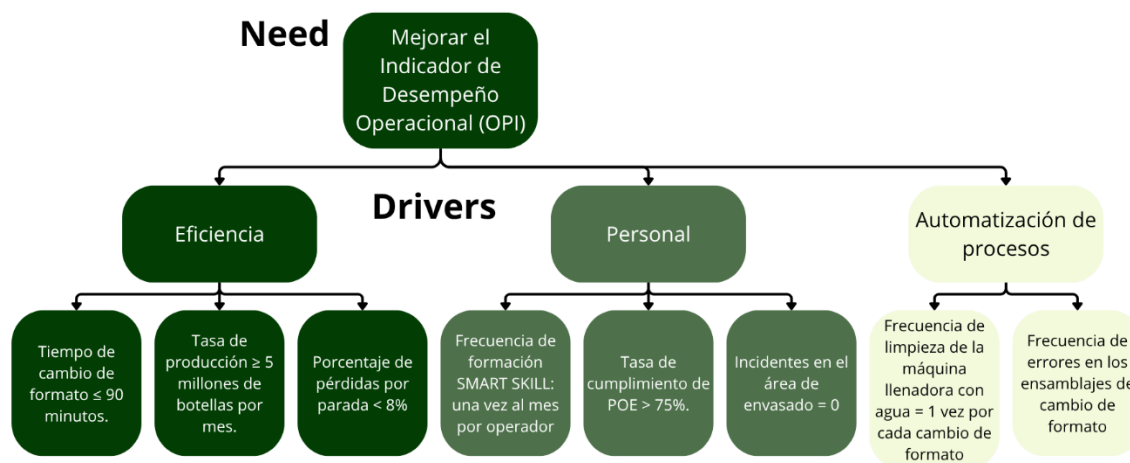
Figura 7

Voz del cliente



2.1.5. Críticos para la calidad

Tras obtener la voz del cliente, se tradujeron sus necesidades en requerimientos técnicos mediante el árbol CTQ, estableciendo una relación directa entre sus expectativas y las características críticas del proceso. Esta herramienta permitió asegurar que las mejoras propuestas sean medibles y alineadas con lo que el cliente requiere, además de definir adecuadamente la variable de respuesta: el tiempo total de cambio de formato.

Figura 8*Critical to Quality (CTQ)*

El CTQ mostrado en la Figura 8 se elaboró a partir del objetivo principal del proyecto: reducir los tiempos de cambio de formato para mejorar el Indicador de Desempeño Operacional (OPI) al aumentar la disponibilidad y eficiencia de la línea. Su estructura se organizó en tres pilares —Eficiencia, Talento Humano y Automatización— que agrupan los factores que influyen en la calidad y el desempeño del proceso. La variable de respuesta que se definió es el tiempo total de cambio de formato, calculado como la suma de los tiempos de cada actividad involucrada en dicho proceso tal como se expresa en la siguiente relación:

$$\text{Tiempo total de cambio de formato} = \sum_{i=1}^n t_i$$

2.1.6. Definición de la variable Y

La variable Y de este estudio correspondió al tiempo total de cambio de formato en la máquina llenadora del área de envasado, medido en minutos, el cual representa la salida crítica del proceso (Critical to Quality, CTQ).

Esta variable refleja el desempeño operativo del proceso de ajuste entre lotes, y es el principal indicador que permite evaluar la eficiencia del área. Actualmente, el proceso registra un promedio de 135 minutos por cambio de formato, mientras que el mejor tiempo histórico registrado por la empresa es de 50 minutos. Por tanto, el objetivo del proyecto fue reducir el valor promedio de la variable Y mediante la aplicación de la metodología DMAIC y herramientas de Lean Six Sigma y SMED, buscando alcanzar una operación más ágil, estandarizada y eficiente.

2.1.7. Definición del problema

Para comprender y delimitar el problema del proceso se aplicó la herramienta 3W2H, que permitió describir de forma estructurada la situación actual. El análisis muestra que el problema son los altos tiempos de cambio de formato (Qué) en la máquina llenadora del área de envasado (Dónde), presentes desde abril de 2025 (Cuándo), con un promedio de 135 minutos por cambio y un mejor desempeño histórico de 50 minutos (Cómo lo sé), lo que evidencia una brecha considerable frente al estándar esperado.

Esta situación reduce la disponibilidad de la línea, afecta el indicador OPI y disminuye la productividad, además de incrementar la variabilidad del proceso y evidenciar falta de estandarización entre operadores. Por ello, se planteó analizar las causas raíz e implementar herramientas como SMED y Lean Six Sigma para reducir tiempos improductivos, eliminar actividades sin valor agregado y mejorar la eficiencia operacional.

2.1.8. Métricas de sostenibilidad

Las métricas de sostenibilidad del proceso se enfocaron en tres indicadores: social, económico y ambiental. En el **indicador social**, se monitoreó el número de incidentes durante los cambios de formato, dado el riesgo de accidentes por vidrio roto en la máquina llenadora; aunque existen controles de ingeniería, aún no son totalmente efectivos, por lo que se estableció como meta alcanzar cero incidentes mensuales. En el **indicador económico**, se buscó reducir los tiempos de cambio de formato, ya que representan pérdidas de producción y afectan la rentabilidad; la oportunidad de ganancia se calculó multiplicando el tiempo reducido por la tasa de producción y la diferencia entre el precio de venta y el costo unitario. Finalmente, el **indicador ambiental** se centró en disminuir el consumo de agua utilizado en la limpieza durante los cambios de formato, el cual se cuantificó mediante la relación entre la tasa de flujo y el tiempo de uso, contribuyendo tanto a la sostenibilidad ambiental como a la reducción de costos operativos.

2.2. Medición

2.2.1. Plan de recolección de datos

Para iniciar la fase de medición se elaboró un plan de recolección de datos que detalla las variables a observar, sus unidades de medida, el método de obtención, el tamaño de muestra, la fuente y su justificación. Este plan permitió analizar cómo dichas variables influyen en la variable de respuesta: el tiempo total de cambio de formato. Así, se garantiza que la información recopilada sea pertinente y útil para la toma de decisiones en las siguientes fases. La Tabla 2 presenta este plan de forma detallada.

Tabla 2*Plan de recolección de datos*

Medición operativa	Unidad de medida	Qué			¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cómo?	¿Por qué?	¿Quién?
		Tipo de datos	Tamaño de la muestra	Stratification factors	¿Dónde recoger?	¿Cuándo se recogió?	Método de recolección	¿Por qué coleccionar?	¿Quién lo recolecta?
Tiempos de cambio de formato	Minuto	Continuo	5	Cambios de formato: 600 a 330, 600 a 207, 330 a 600 y 207 a 600	Formato SMED para recolección de datos	Desde octubre 2025	Datos de muestra	Para determinar los tiempos exactos de todas las actividades relacionadas con los	Líderes de proyecto
Tiempos de cambio de formato	Minuto	Continuo	30	Cambios de formato: 600 a 330, 600 a 207, 330 a 600 y 207 a 600	Registros de la empresa	Desde enero 2025	Datos históricos	To determine the stability and capability of the process	Líderes de proyecto
% de pérdidas por parada	Porcentaje	Continuo	12	Paradas por cambio de formato, mantenimiento, calibración, fallas mecánicas y eléctricas	Registros de la empresa	Desde enero 2025	Datos históricos	Para determinar los porcentajes de pérdidas por parada críticos en el OPI	Líderes de proyecto
Indicador de Desempeño Operacional (OPI)	Porcentaje	Continuo	12	OPI del área de envase por semana	Registros de la empresa	Desde enero 2025	Datos históricos	Para determinar las mejoras en el indicador después de las mejoras	Líderes de proyecto
Producción mensual de botellas	Unidades	Discreto	9	-	Registros de la empresa	Desde enero 2025	Datos históricos	Para determinar los ahorros después de las mejoras	Líderes de proyecto

Durante la fase de Medición se recopilaron datos operativos de la línea de envasado (enero–octubre 2025), incluyendo tiempos de cambio de formato, paradas, equipos involucrados y producción real por turno, lo que permitió cuantificar eventos, identificar patrones y evaluar su impacto en la eficiencia. Estos datos posibilitaron calcular tiempos promedio, mínimo y máximo, así como determinar qué porcentaje de pérdidas está asociado a los cambios de formato. Para asegurar su confiabilidad, se validaron comparando los registros manuales de los operadores con el contador digital de la línea, lo que permitió detectar inconsistencias, depurar datos atípicos y confirmar la producción frente al estándar de 30.000 botellas/h. Con esta validación se obtuvieron datos precisos y representativos, esenciales para las siguientes etapas: estratificación, pruebas de normalidad, análisis de capacidad y evaluación de estabilidad del proceso.

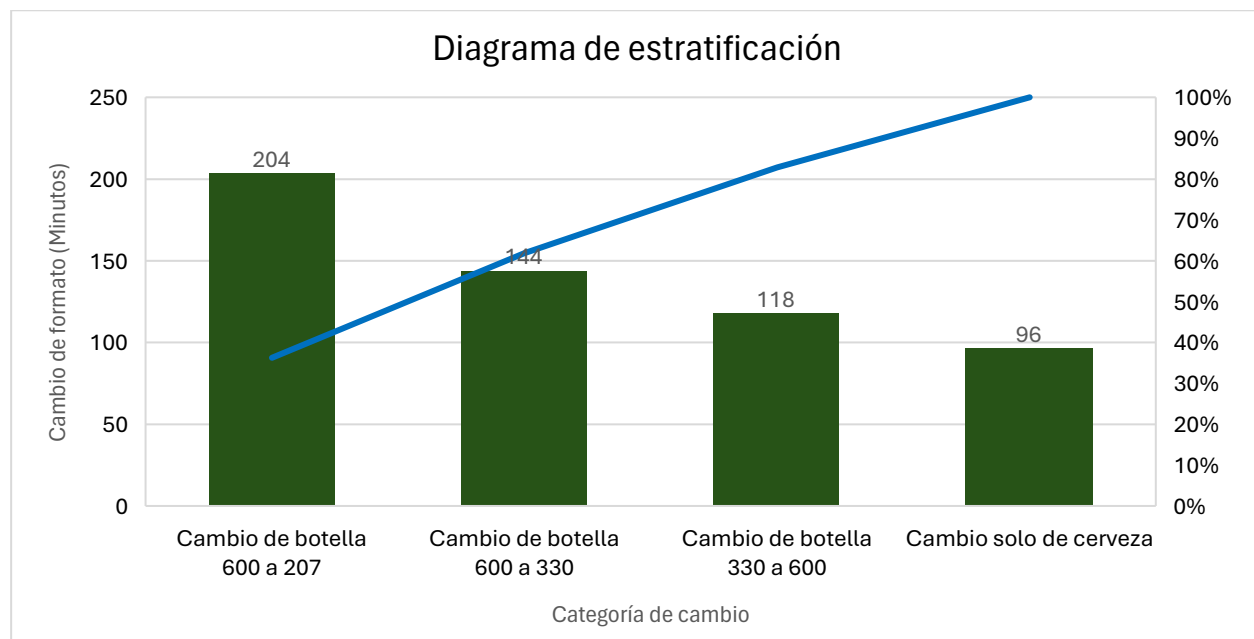
2.2.2. Estratificación de datos

La estratificación de los tiempos de cambio de formato se realizó agrupando los datos según el tipo de transición entre presentaciones de botella: cambios de 600 a 207 ml, de 600 a 330 ml y de 330 a 600 ml. Como se muestra en la Figura 9, estos tres últimos registran los tiempos de cambio con un promedio más alto, mientras que el cambio sólo de cerveza se presenta una duración inferior.

El análisis ABC muestra que los cambios de mayor duración representan el 80%, concentrándose en los tres primeros tipos de cambio. Esto indica que las variaciones relacionadas con las dimensiones de la botella son las que tienen el mayor impacto.

Figura 9

Diagrama de estratificación



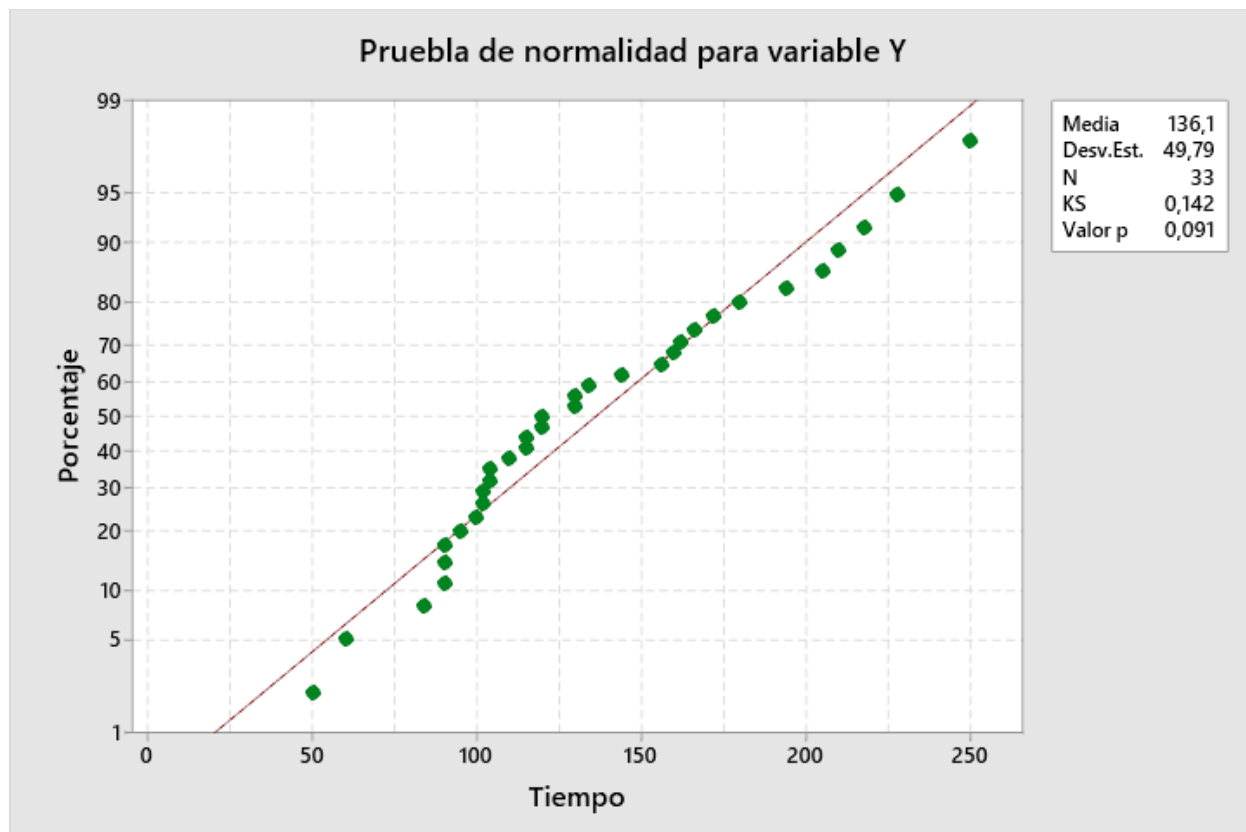
2.2.3. Prueba de Normalidad

La Figura 10 muestra la prueba de normalidad Kolmogórov-Smirnov que se aplicó a los tiempos de cambio de formato. El valor p que se obtuvo fue de $p = 0,091$ el cual es superior al nivel de significancia de 0,05, por lo que no se rechazó la hipótesis nula y se concluyó que los

datos siguen una distribución normal. Esta verificación fue fundamental para garantizar la validez de los análisis estadísticos posteriores, especialmente los relacionados con capacidad del proceso.

Figura 10

Gráfica de distribución de datos observados



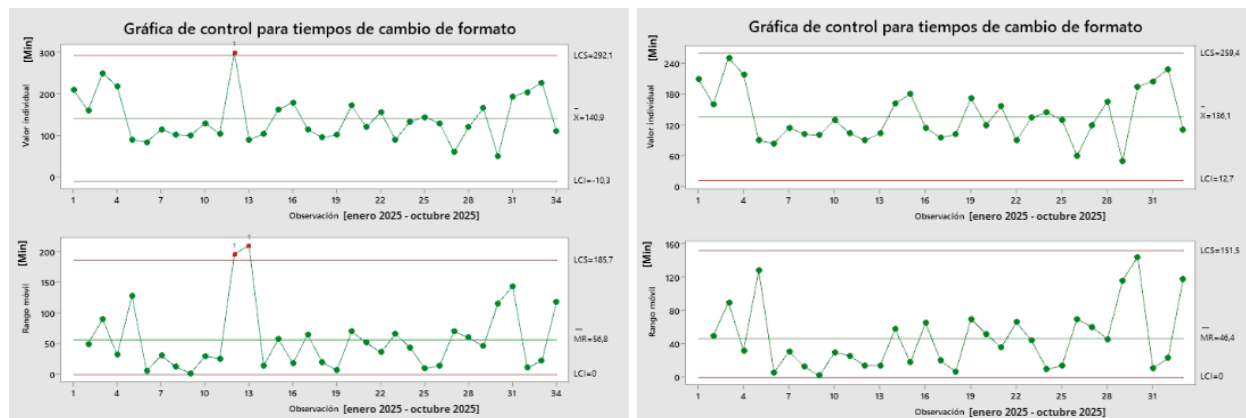
2.2.4. Análisis de estabilidad

El análisis de estabilidad como se presenta en la Figura 11 mostró inicialmente que el proceso no estaba en control estadístico debido a la presencia de un punto fuera de los límites de control, lo que evidencia una causa especial de variación. Tras eliminar este valor atípico, la gráfica I-MR indica que el proceso quedó dentro de los límites de control; sin embargo, se mantuvo una variabilidad considerable entre los tiempos registrados. Esto confirmó que, aunque

el proceso se pudo considerar estable después de depurar el dato atípico, aún presentaba fluctuaciones importantes que requieren intervención.

Figura 11

Gráfica de control para tipo de cambio de formato

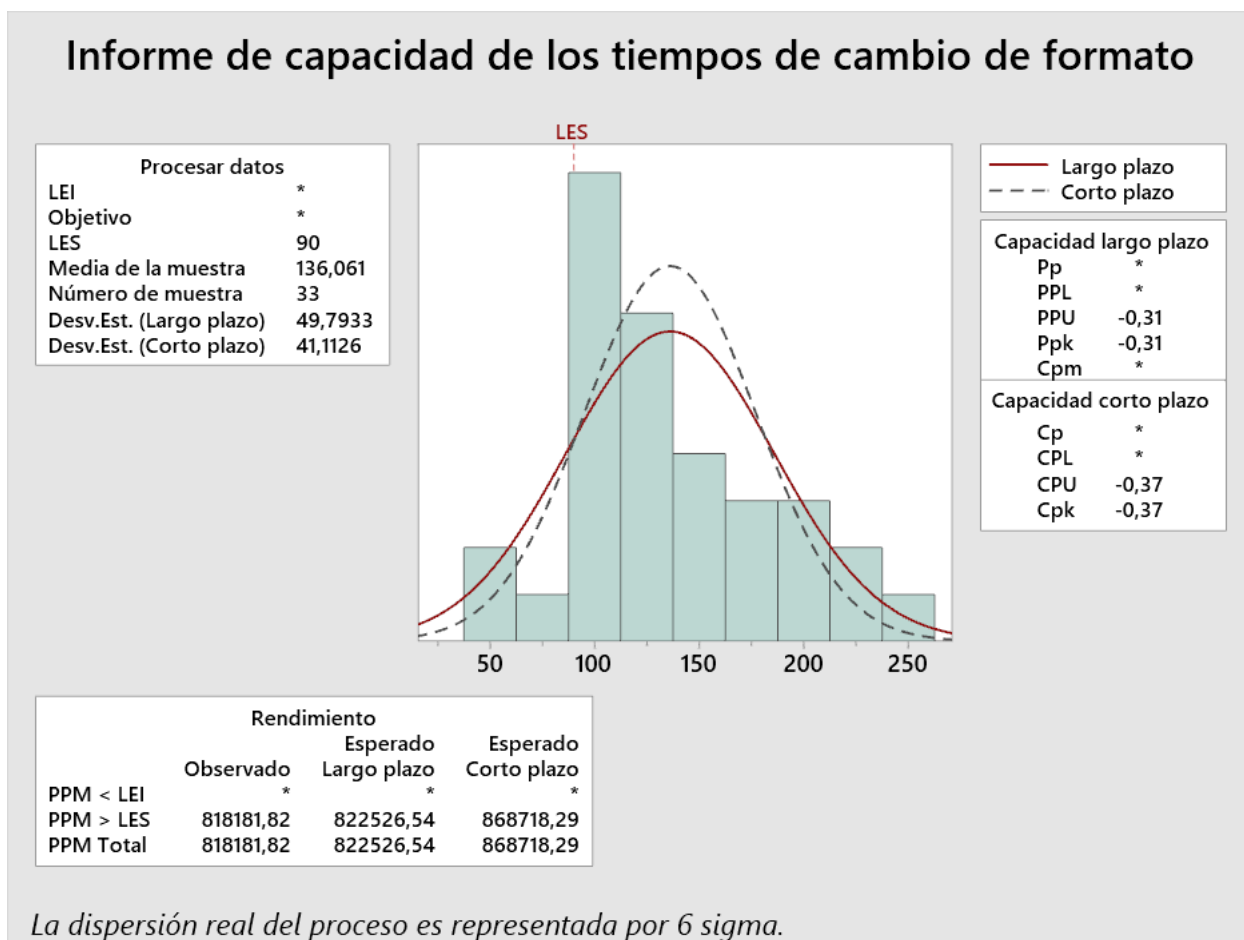


2.2.5. Análisis de capacidad

El análisis de capacidad como se presenta en la Figura 12 indica que el proceso de cambio de formato no cumplió con el límite superior de 90 minutos. El valor de $C_{pk} = -0,37$ demuestra que la media del proceso se encontraba por encima de la especificación, mientras que el $C_{pu} = -0,37$ confirma que el comportamiento del proceso se desplazó hacia tiempos mayores al permitido. En conjunto, estos indicadores evidenciaron que el proceso no es capaz de garantizar cambios de formato dentro del tiempo objetivo establecido.

Figura 12

Análisis de capacidad por tipo de cambio de formato



2.3. Análisis

2.3.1. Lluvia de ideas

Como primer paso en la fase de análisis, se realizó un ejercicio de lluvia de ideas con los operadores y personal del área, este proceso permitió identificar un conjunto de causas potenciales relacionadas con el alto tiempo de cambio, agrupando ideas inicialmente sin evaluar su validez o nivel de impacto.

Figura 13

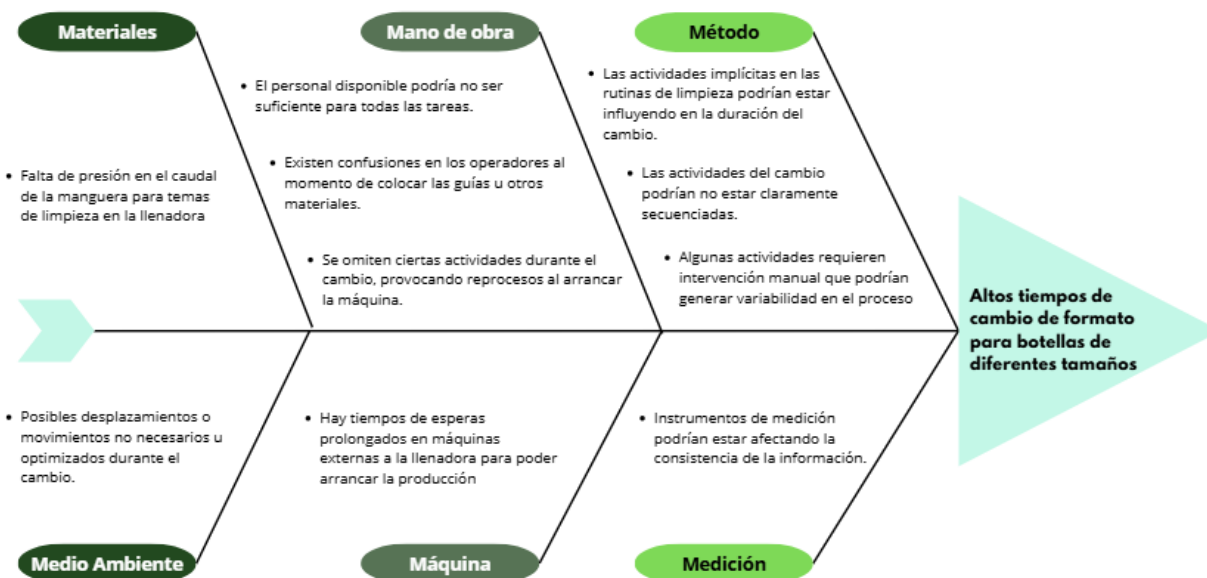
Lluvia de ideas

2.3.2. Diagrama Ishikawa

A partir de estas causas preliminares, se elaboró el diagrama de Ishikawa con el fin de organizar y clasificar cada causa según las categorías de las 6M, como muestra la figura 14, facilitando así su posterior validación mediante herramientas estadísticas y análisis estructurados.

Figura 14

Diagrama Ishikawa de los altos tiempos de cambio de formato



2.3.3. Matriz Causa-Efecto

Con el propósito de priorizar las causas potenciales identificadas en la lluvia de ideas y el diagrama de Ishikawa, se elaboró una matriz causa-efecto (Figura 15) en la que participaron tanto el gerente del área como los operadores involucrados en el proceso. Cada causa fue evaluada según su impacto percibido sobre el tiempo de cambio de formato, asignándose ponderaciones diferentes a cada grupo según su nivel de experiencia y responsabilidad. Los resultados muestran que la causa con mayor puntuación corresponde a las actividades del cambio que no están claramente secuenciadas (X4), seguida de algunas actividades requieren intervención manual que podrían generar variabilidad.

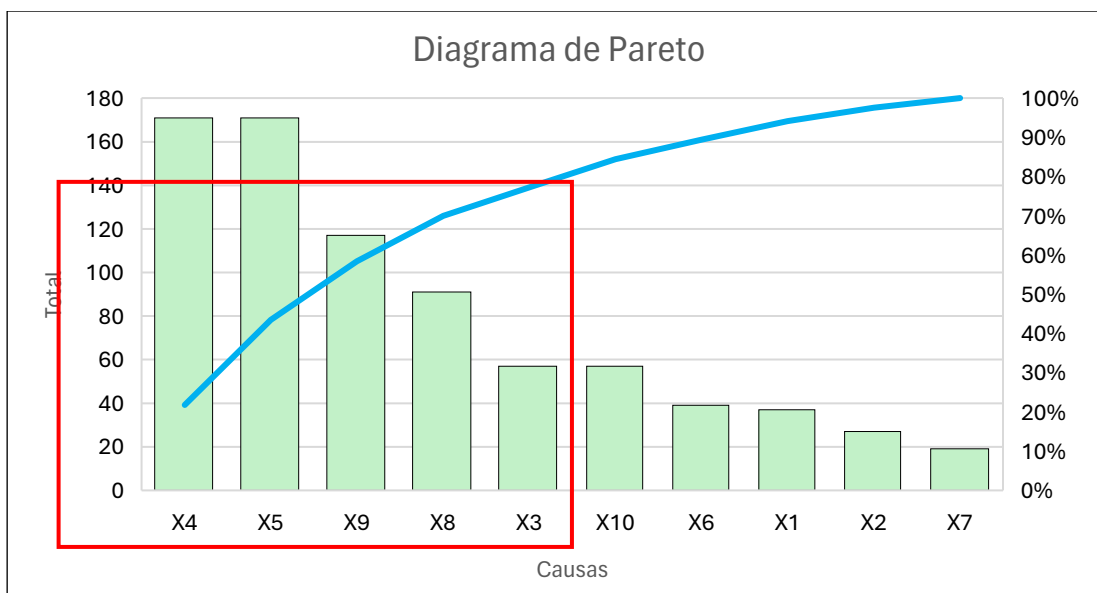
Figura 15*Matriz Causa-Efecto*

Variable	Causas	Gerente	Operador	Total
X1	Falta de presión en el caudal de la manguera para temas de limpieza en la llenadora.	1	3	37
X2	El personal disponible podría no ser suficiente para todas las tareas.	0	3	27
X3	Las rutinas de limpieza podrían estar influyendo en la duración del cambio.	3	3	57
X4	Las actividades del cambio podrían no estar claramente secuenciadas.	9	9	171
X5	Algunas actividades requieren intervención manual (guías, calderín, barandas, entre otras) que podría generar variabilidad	9	9	171
X6	Posibles desplazamientos o movimientos no necesarios u optimizados durante el cambio.	3	1	39
X7	Instrumentos de medición podrían estar afectando la consistencia de la información.	1	1	19
X8	Hay tiempos de esperas prolongados en máquinas externas a la llenadora para poder arrancar la producción	1	9	91
X9	Existen confusiones en los operadores al momento de colocar las guías u otros materiales.	9	3	117
X10	Se omiten ciertas actividades durante el cambio, provocando reprocesos al arrancar la máquina.	3	3	57

2.3.4. Diagrama de Pareto

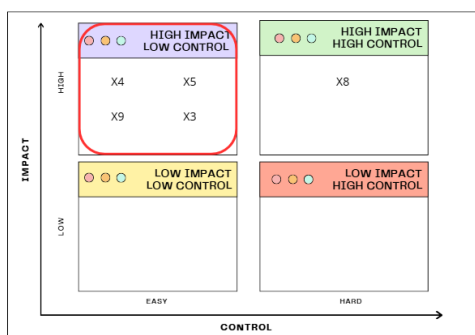
Después de realizar la matriz de causa-efecto, se realizó un diagrama de Pareto con el total de los puntajes asignados a cada variable, con la finalidad de validar la priorización de estas causas. Con este diagrama se identificó que las causas X3 (rutinas de limpieza), X4 (actividades no claramente secuenciadas), X5 (intervención manual), X9 (confusiones en guías u otros materiales), X8 (tiempo de espera en máquinas externas), corresponden al 80% de los efectos siendo éstas las causas en donde se puedan encontrar las principales oportunidades para poder mejorar el problema y de donde se puede localizar la causa raíz.

A continuación, se muestra en la Figura 16 el diagrama de Pareto.

Figura 16*Diagrama de Pareto*

2.3.5. Matriz Impacto-Esfuerzo

Después de realizar el Pareto, donde se obtuvieron las causas que representan el 80% del problema, se procedió a clasificarlas y valorarlas en una matriz impacto-esfuerzo, se las clasificó como rápidas mejoras, grandes proyectos, causas de relleno y actividades menores, siendo las causas del primer recuadro como se muestra en la figura 17 aquellas que se priorizará debido a la fácil implementación y control.

Figura 17*Matriz Impacto-Esfuerzo*

2.3.6. Plan de Verificación de causas

Se procedió a realizar un plan de verificación de causas presentado en la Tabla 3, donde se analiza el impacto teórico y se define el método de verificación para cada causa y así poder identificar la influencia real de las causas potenciales que producen los altos tiempos de cambio y que efectivamente contribuyen al problema enfocado.

Tabla 3



Plan de verificación de causas potenciales

PLAN DE VERIFICACIÓN DE CAUSAS			
CAUSAS POTENCIALES	IMPACTO TEÓRICO	¿CÓMO LO VERIFICO?	ESTADO
X3 = Las actividades implícitas en las rutinas de limpieza podrían estar influyendo en la duración del cambio.	Debido a que las rutinas incluyen actividades de desplazamiento que no agregan valor, se considera que estos tiempos no optimizados afectan de manera directa el desempeño de los cambios de formato.	Gemba: Mediante observaciones, relatos de operadores y verificación de control administrativo en el área	Verificado
X4 = Las actividades del cambio podrían no estar claramente secuenciadas.	Al no realizar las actividades en un orden correcto esto puede generar errores en el proceso y demorar más en el cambio de formato.	Gemba: Observaciones de cambios de formato con distintos operadores y toma de tiempos	Verificado
X5 = Algunas actividades requieren intervención manual que podría generar variabilidad en el proceso.	Existen actividades manuales como cambios de piezas o calibraciones de equipos que al momento de ejecutarlas se tornan complejas para el operador.	Gemba: Observaciones de cambios de formato.	Verificado
X9 = Existen confusiones en los operadores al momento de colocar las guías u otros materiales	Si los operadores presentan confusiones al colocar las guías u otros materiales, se incrementa el tiempo de cambio de formato debido a detenciones para verificar, corregir o rehacer la colocación.	Gemba: Observaciones de colocación erróneas de piezas, relatos de supervisores y operadores.	Verificado

2.3.6.1 Verificación de causas potenciales X3, X4, X5, X9

Mediante observaciones en GEMBA se procedió a realizar la verificación de cada una de las causas potenciales, tal como se explica en la Tabla 4. Lo cual permite confirmar, mediante observación directa y evidenciar en campo si cada causa potencial realmente influye en el problema, asegurando un diagnóstico preciso antes de plantear acciones de mejora.

Tabla 4*Verificación de causas X3, X4, X5 Y X9*

VERIFICACIÓN DE CAUSAS		
CAUSAS POTENCIALES	¿CÓMO LO VERIFICO?	OBSERVACIONES GEMBA
X3 = Las actividades implícitas en las rutinas de limpieza podrían estar influyendo en la duración del cambio.	Las observaciones evidencian que las rutinas impactan en los cambios de formato: un 14% del tiempo total se destina a limpieza y se identificaron desplazamientos innecesarios que no agregan valor al proceso.	
X4 = Las actividades del cambio podrían no estar claramente secuenciadas.	Se ha podido evidenciar que cada operador realiza el cambio de formato de manera distinta, lo que produce tiempos muy variables.	
X5 = Algunas actividades requieren intervención manual que podría generar variabilidad en el proceso.	Mediante observaciones se confirma que los operadores hacen varios ajustes manuales en la máquina durante el cambio de formato.	
X9 = Existen confusiones en los operadores al momento de colocar las guías u otros materiales	Durante el GEMBA se evidenció que las guías de la máquina no se distinguen por formato, generando confusión en los operadores, la cual ha ocasionado olvidos al cambiarlas y reprocesos en el cambio general.	

2.3.7. Cinco Porqués

Después de realizar las verificaciones de las causas potenciales se realizó el cinco porqué de esas causas, como se puede apreciar en los siguientes esquemas (Figura 18, Figura 19, Figura 20 y Figura 21).

Figura 18

Esquema 5 porqué de la causa X3

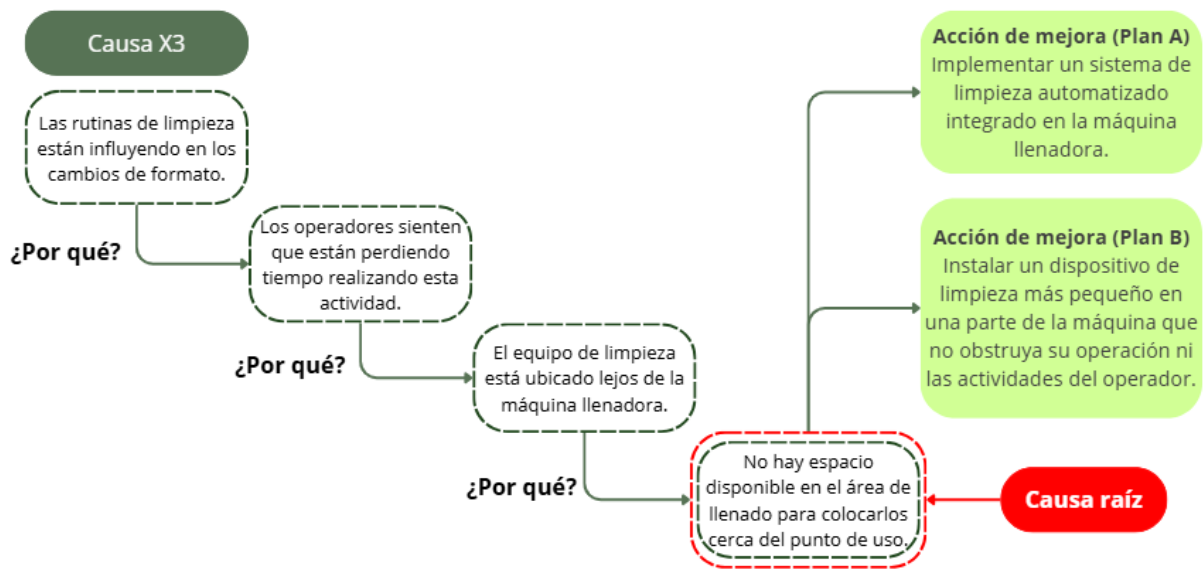


Figura 19

Esquema 5 porqué de la causa X4

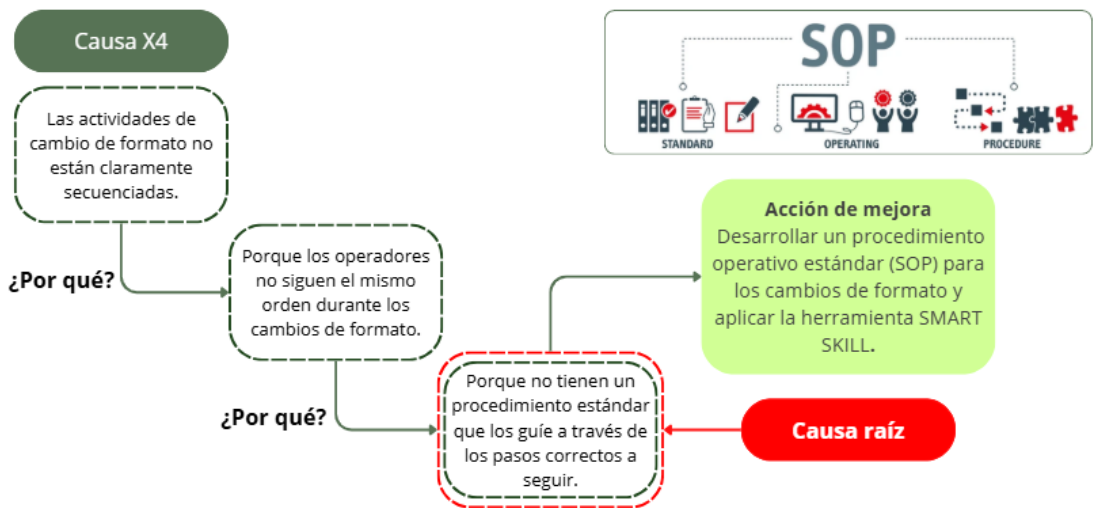


Figura 20

Esquema 5 porqué de la causa X5

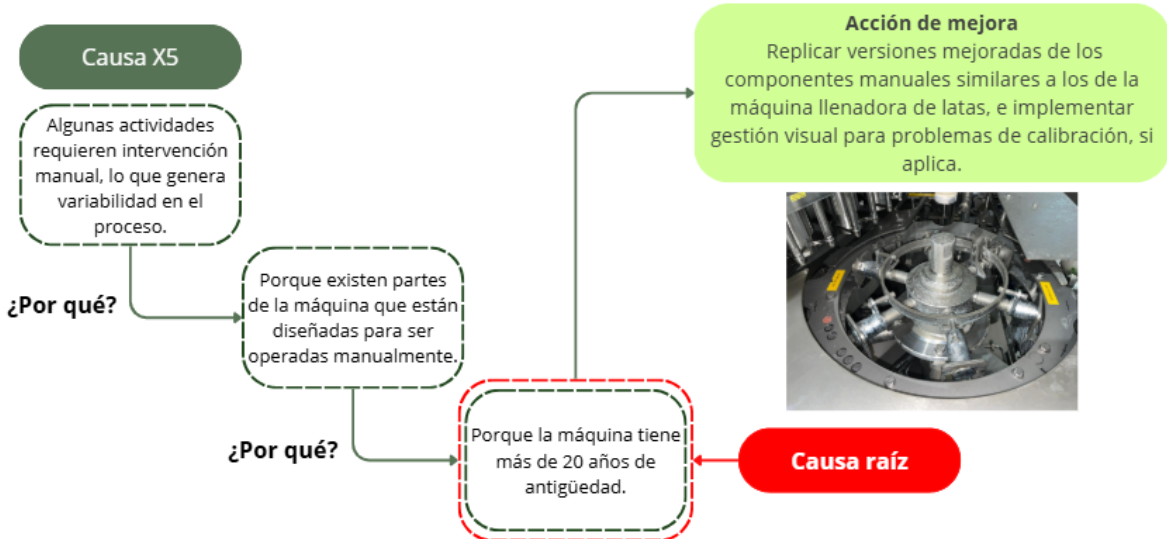
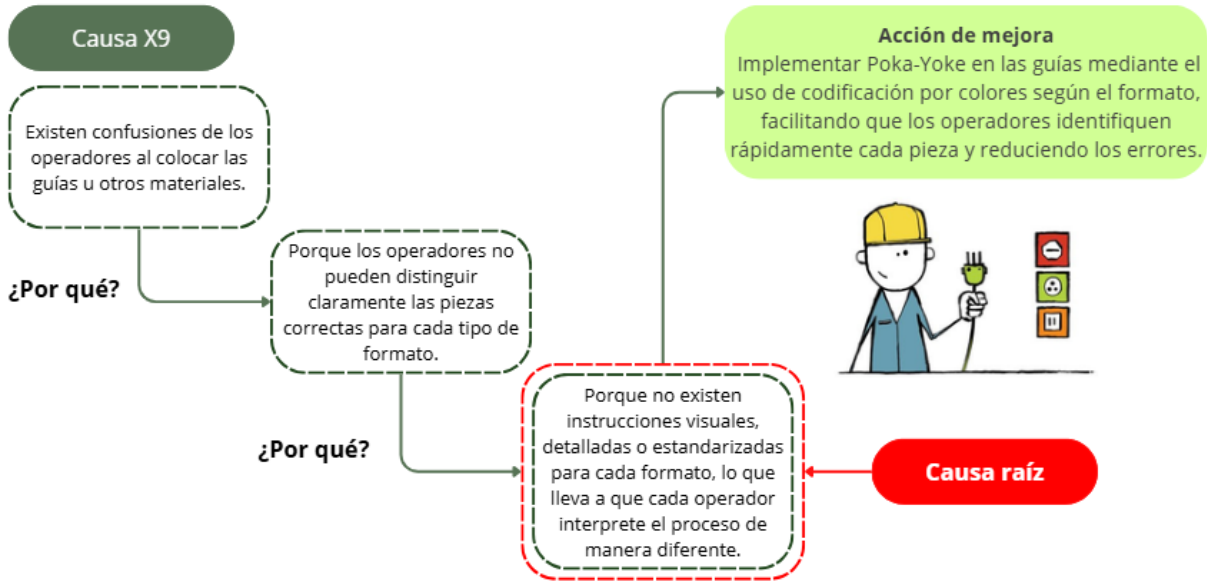


Figura 21

Esquema 5 porqué de la causa X9



El análisis mediante 5 Porqués evidenció que los retrasos y la variabilidad en los cambios de formato se deben principalmente a tres factores: tiempos improductivos asociados a rutinas de

limpieza, falta de estandarización en las actividades y confusiones operativas al instalar piezas. Se identificó que estos problemas surgen por la distancia del equipo de limpieza, la ausencia de procedimientos definidos y la falta de instrucciones visuales para cada formato. Como mejoras se propone automatizar o acercar la limpieza, elaborar un procedimiento estándar, rediseñar piezas manuales para facilitar los ajustes e incorporar gestiones visuales, Kanban y Poka Yoke que faciliten la identificación correcta de piezas y reduzcan errores durante el proceso.

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

3.1. Mejora

En esta fase se formularon diversas alternativas de solución basadas en las causas raíz identificadas durante la etapa de análisis. Posteriormente, mediante una evaluación financiera, se determinaron las soluciones viables para su implementación, orientadas a reducir o eliminar las causas raíz asociadas y alcanzar las mejoras esperadas en el proceso.

3.1.1. Posibles soluciones

Luego de aplicar el análisis de los cinco porqués a las causas potenciales previamente validadas, se procedió a formular diferentes alternativas de solución para cada una de ellas. Estas propuestas se desarrollaron con el objetivo de atacar directamente las causas raíz identificadas y su detalle puede evidenciarse en la Figura 22.

Figura 22

Posibles soluciones de las causas raíz

Causa	Causa Raíz	Posible solución
X3 =Las actividades implícitas en las rutinas de limpieza pueden estar influyendo en la duración del cambio.	No hay espacio disponible en el área de llenado para colocarlos cerca del punto de uso.	S1 A: Implementar un sistema de limpieza automatizado integrado en la máquina llenadora. S1 B: Instalar un dispositivo de limpieza más pequeño en una parte de la máquina que no obstruya su funcionamiento ni las actividades del operador.
X4 =Es posible que las actividades implicadas en el cambio no estén claramente secuenciadas.	No tienen un procedimiento estándar que les guíe sobre los pasos correctos a seguir.	S2: Desarrollar un procedimiento operativo estándar (SOP) para cambios de formato y aplicar la herramienta SMART SKILL.
X5 =Algunas actividades requieren intervención manual, lo que podría generar variabilidad en el proceso.	Hay partes de la máquina que están diseñadas para ser operadas manualmente debido a la antigüedad de la máquina.	S3 1: Ajustes semiautomáticos de la barandilla. S3 2: Instalar una ducha de enjuague junto a la tapadora. S3 3: Replicar el sistema de ajuste de rueda de estrella utilizado en la llenadora de latas.
X9 =Existen confusiones por parte del operador al momento de colocar las guías u otros materiales.	No existen instrucciones visuales, detalladas ni estandarizadas para cada formato, lo que lleva a cada operador a interpretar el proceso de manera diferente.	S4: Implementar Poka-Yoke en las guías mediante codificación por colores según formato, facilitando a los operadores identificar rápidamente cada pieza y reducir errores.

3.1.2. Análisis financiero inicial

Después de haber planteado las posibles soluciones para las causas raíz, se desarrolló un análisis financiero para cada una de éstas con la finalidad de clasificar cuales soluciones son las más factibles de llevar a cabo para la empresa en cuanto a costos y tiempo de implementación y costos de instalación. En la Tabla 5 se muestra en análisis financiero realizado.

Tabla 5

Análisis financiero inicial por solución

Nº	Soluciones	Tiempo de implementación	Costo del activo + Costo de Instalación	Costo de los complementos	Total
S1 A	Implementar un sistema de limpieza automatizado integrado en la máquina llenadora.	+ 6 meses	\$115.000	0	\$115.000,00
S1 B	Instalar un dispositivo de limpieza más pequeño en una parte de la máquina que no obstruya su funcionamiento ni las actividades del operador.	Diciembre 2025 Enero 2026	\$2.000	\$5.000	\$7.000,00
S2	Desarrollar un procedimiento operativo estándar (SOP) para cambios de formato y aplicar la herramienta SMART SKILL.	Diciembre 2025 Enero 2026	\$0	\$50	\$50,00
S3 1	Ajustes semiautomáticos de las barandas	+ 6 meses	\$2.000	\$3.000	\$5.000,00
S3 2	Instalar una ducha de enjuague junto a la tapadora.	Diciembre 2025 Enero 2026	\$1.000		\$1.000,00
S3 3	Replicar el sistema de ajuste de rueda de estrella utilizado en la llenadora de latas.	+ 3 meses	\$2.000		\$2.000,00
S4	Implementar Poka-Yoke en las guías mediante codificación por colores según formato, facilitando a los operadores identificar rápidamente cada pieza y reducir errores.	Diciembre 2025 Enero 2026	\$0	\$300	\$300,00

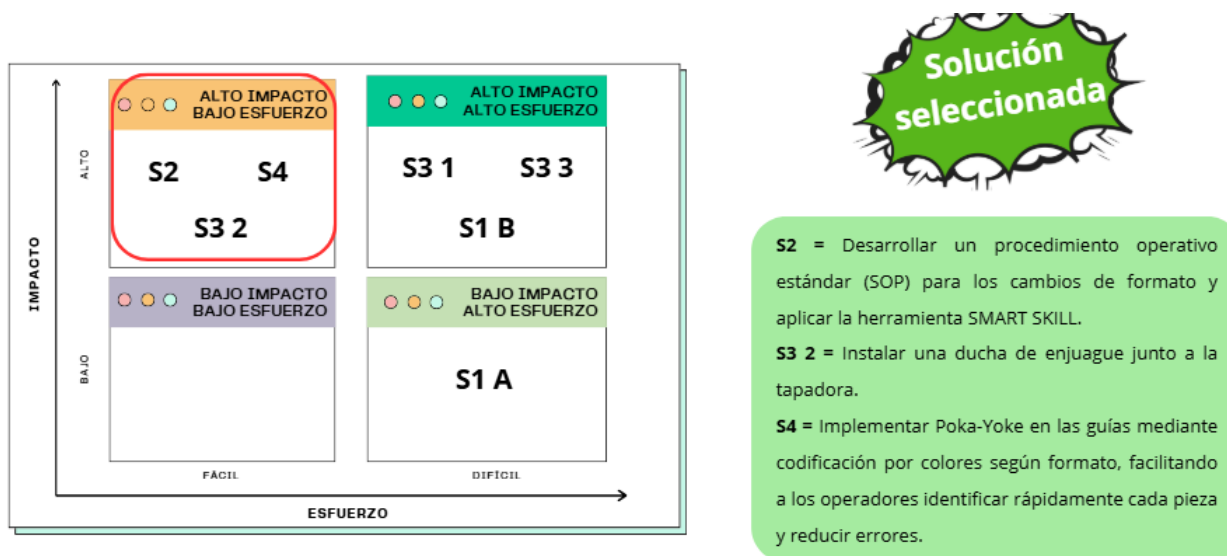
3.1.3. Matriz Impacto – Esfuerzo

Después de haber realizado el análisis financiero de las posibles soluciones a cada causa raíz, se realizó una matriz de impacto esfuerzo que permita clasificar cuan conveniente es llevar a cabo las soluciones teniendo en cuenta los factores económicos, tiempo de ejecución, impacto dentro de la empresa y el esfuerzo que esta demande para la organización.

Por lo que se realizó una socialización con personal de gerencia del área de envasado y se escogieron las soluciones de alto impacto y bajo esfuerzo como se muestra en la Figura 23.

Figura 23

Matriz de priorización de soluciones Impacto – Esfuerzo



3.1.4. Plan de implementación

Después de seleccionar las soluciones más factibles para la organización analizando los costos y tiempo de implementación, fue necesario elaborar un plan que permita llevarlas a cabo de una manera organizada durante esta fase teniendo en cuenta ciertos detalles como de quiénes son los responsables, el tiempo límite de ejecución y así mismo el lugar en donde se desarrollarán y cuál es el estado y el costo final para implementarlas. Este plan se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6*Plan de implementación de soluciones*

CAUSA RAÍZ	SOLUCIÓN	JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN	LUGAR PARA IMPLEMENTAR LA SOLUCIÓN	RESPONSABLE	COSTO	FECHA LÍMITE	ESTADO
La falta de un procedimiento operativo estándar crea variabilidad en cómo se realizan los cambios de formato, lo que genera tiempos de cambio más largos.	Desarrollar un procedimiento operativo estándar (SOP) para cambios de formato y aplicar la herramienta SMART SKILL.	Asegúrese de que cada cambio de formato se realice de forma coherente y correcta.	En la línea de envasado.	Sobre las guías manuales y estaciones de trabajo del operador.	\$5.000	dic 2025	Durante la implementación.
Hay partes de la máquina que están diseñadas para ser operadas manualmente debido a la antigüedad de la máquina..	Automatizar el ajuste de la ducha de enjuague junto a la taponadora.	Reduce el tiempo de operación manual y mejora la eficiencia del cambio.	En la máquina llenadora.	Técnicos de mantenimiento y operadores.	\$1.000	ene 2026	Durante la implementación.
No existen instrucciones visuales, detalladas ni estandarizadas para cada formato, lo que lleva a cada operador a interpretar el proceso de manera diferente.	Implementar Poka-Yoke en las guías mediante codificación por colores según formato, facilitando a los operadores identificar rápidamente cada pieza y reducir errores.	Minimice los errores y guíe a los operadores a través del proceso utilizando señales visuales claras.	Sobre las guías manuales y estaciones de trabajo del operador.	Personal de mantenimiento	\$300	dic 2025	Durante la implementación.

3.1.5. Implementación de soluciones.

Una vez seleccionadas las soluciones más factibles y desarrollado el plan de implementación lo que permitió llevar a cabo el desarrollo de cada de una de las soluciones con la finalidad de obtener el efecto deseado que se alinea al objetivo de este proyecto. Es posible a continuación mostrar el paso a paso de las soluciones puesta en marcha.

3.1.6. Desarrollo del procedimiento estándar (SOP) para cambios de formato y aplicar la herramienta SMART SKILL. Solución S2.

Primero, se ejecutó un análisis SMED sobre el proceso de cambio previamente mapeado, con el objetivo de clasificar de manera sistemática las actividades diferenciando entre actividades externas, realizadas con el equipo en funcionamiento, y actividades internas, ejecutadas con el equipo fuera de operación.

Posteriormente, se evaluó la factibilidad de convertir actividades internas en externas y se analizó cada actividad en función de su potencial de eliminación, combinación, reducción o simplificación, conforme a los principios de optimización del tiempo de cambio de formato. El detalle del análisis desarrollado se presenta en la Tabla 7.

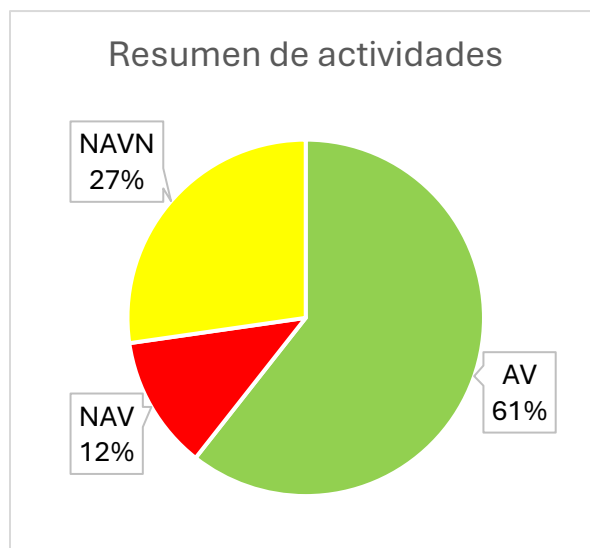
Tabla 7

Análisis SMED del proceso

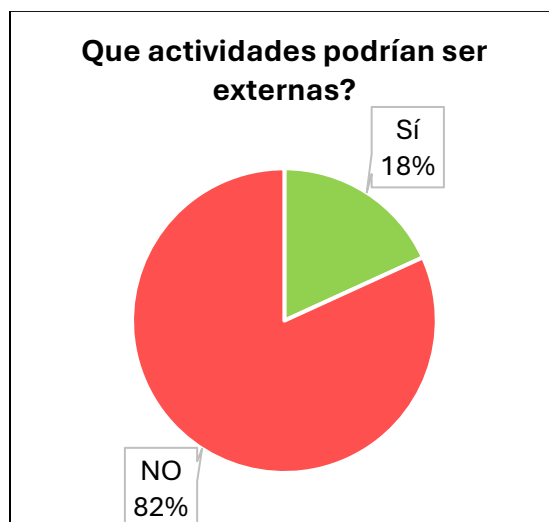
	Descripción	Interna / Externa	Se puede convertir a externa?	AVINAVIN AVN	Eliminar	Simplificar
1	Busqueda de las herramientas y del rack con las guías a usar	Externa		☑️ AV		
2	Ajuste de calderín	Interna		☑️ AV		
3	Retiro de guías del formato anterior	Interna		☑️ AV		X
4	Retiro de guías del área	Interna		🚫 NAV		
5	Desajunta la altura de los coronadores y los retira	Interna		☑️ AV		
6	Retira los 84 tubos de llenado	Interna		☑️ AV		
7	Coloca el nuevo formato, se ajustan pernos y tuercas	Interna		☑️ AV		
8	Coloca los coronadores y se ajusta la altura	Interna		☑️ AV		
9	Coloca los 84 tubos de llenado	Interna		☑️ AV		
10	Ajuste de altura de calderín	Interna		☑️ AV		X
11	Transporte de carrito de limpieza al área de llenado	Interna	Sí	🚫 NAV	X	
12	Llenado de carrito	Interna	Sí	🟡 NAYN	X	
13	Limpieza de máquina llenadora con manguera	Interna	Sí	🟡 NAYN	X	
14	Jabonado de máquina llenadora con químico	Interna	Sí	🟡 NAYN		X
15	Transporte de carrito de limpieza al área de almacenamiento	Interna	Sí	🚫 NAV	X	
16	Cepillado de máquina llenadora	Interna		🟡 NAYN		X
17	Limpieza de máquina con manguera	Interna	Sí	🟡 NAYN		X
18	Cepillado de guardas de seguridad	Interna		🟡 NAYN		X
19	Ajuste de banda transportadora (barandas)	Interna		☑️ AV		X
20	Colocación de guías de nuevo formato	Interna		☑️ AV		
21	Ajuste de tornillos sin fin	Interna		☑️ AV		X
22	Ajuste de válvula limpiadora de botella (ducha)	Interna		☑️ AV		X
23	Espera que el operador de filtración envíe agua y CO2 para limpiar la tubería	Interna		🟡 NAYN		
24	Sanitiza el calderín con el CO2	Interna		☑️ AV		
25	Verifica que el calderín esté vacío antes de que llegue la cerveza	Interna		☑️ AV		
26	Verifica en la pantalla HMI del conductímetro el oxígeno y pH del producto	Interna		🟡 NAYN		
27	Cierra las válvulas cuando el conductímetro esté en rango	Interna		☑️ AV		
28	Envío de CO2 al calderín y apertura de válvula automática mediante pantalla	Interna		☑️ AV		
29	Verificar que las válvulas de llenado no contengan agua	Interna		☑️ AV		
30	Toma de muestra del producto	Interna		☑️ AV		
31	Transporte de muestra al laboratorio de calidad	Interna		🚫 NAV		
32	Espera para obtener resultados de calidad	Interna		🟡 NAYN		
33	Arranque de producción	Interna		☑️ AV		
TOTAL		Interna				
Nombre: Marlon Montero - Belén Gonzabay		Nombre:				
Elaborado por		Revisado por				

Figura 24

Resumen de las actividades que AV, NAV, NAVN.

**Figura 25**

¿Qué actividades podrían ser externas?



Después de realizar el SMED se pudo identificar que el 18% del total de las actividades que conforman el proceso de cambio de formato, pueden pasar de ser interna a externa, tal como se observa en la Figura 25. En la Figura 24 se observa que 4 actividades pueden ser eliminadas del proceso o 9 de ellas pueden ser simplificadas con la finalidad de reducir los altos tiempos.

código fue colocado en la máquina tal como se muestra en la Figura 28, con el fin de brindar apoyo al personal operador sobre el procedimiento a realizar durante el cambio.

Figura 27

Colocación del código QR en la máquina llenadora

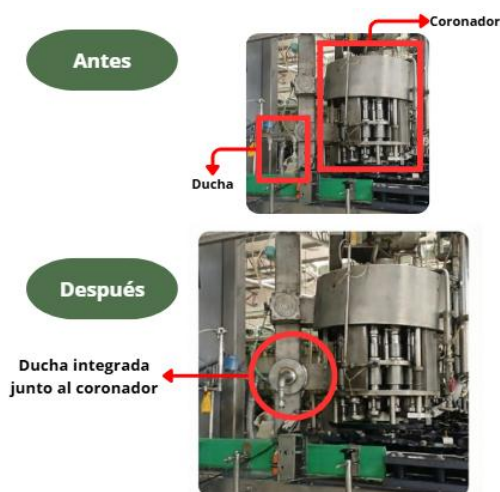


Por último, se procedió con la socialización del SOP a operadores, supervisores y gerente del área con la finalidad de que todos los involucrados en este proceso tengan el conocimiento de esta mejora, dicha actividad se ilustra en la Figura 29.

Figura 28*Socialización del SOP***3.1.7. Instalar una ducha de enjuague junto al coronador. Solución S3 – 2.**

Esta mejora consistió en la integración del ajuste de la ducha con el ajuste del coronador, al ubicar ambos elementos de forma contigua, tal como se observa en la Figura 30. Esta modificación permite ejecutar ambas actividades en una sola intervención, reduciendo tiempos muertos y eliminando movimientos innecesarios, lo que genera un ahorro estimado de 5 minutos en la variable Y (tiempo de setup).

En primera instancia se conversó con operadores para que pudieran generar el aviso Y7 100032621 mediante SAP de cuáles serían los requerimientos para llevar a cabo las mejoras de este proyecto, posteriormente se conversó con el personal de mantenimiento para coordinar el día que se pueda contar con la presencia de un soldador mecánica que pueda unificar la ducha junto al coronador.

Figura 29*Ducha integrada junto al coronador*

3.1.8. Implementación de un Poka Yoke en la máquina llenadora. Solución S4.

Esta mejora consistió en la implementación de un Poka-Yoke visual mediante la codificación por colores de las guías mecánicas según cada formato (207, 330 y 600), con el objetivo de evitar omisiones durante los cambios de formato. Esta solución permite identificar rápidamente las piezas correctas, reducir errores humanos que generan reprocesos como los 20 minutos detectados en un cambio de formato por olvido de un operador, así mismo permite estandarizar el setup y mejorar el desempeño de la variable Y al disminuir tiempos adicionales por correcciones y causas especiales.

Se conversó con el supervisor de la línea para proceder a etiquetar las guías con el color correspondiente a cada formato, en la Figura 31 se puede observar el resultado de las guías y estrellas etiquetadas.

Figura 27

Implementación de poka Yoke



3.2. Control de soluciones implementadas

3.2.1. Control de implementación de solución S2 (SOP)

Mediante observaciones del cambio de formato se evidenció que el operador escaneó el código QR (Figura 32) e iba siguiendo los pasos de acuerdo con el SOP, esto como parte de la etapa de control de la metodología DMAIC.

Figura 28

Operador escaneando el QR



3.2.2. Control de implementación de la solución S3-2. (Integración de ducha y coronador)

En cada cambio de formato se registraron los tiempos de este (ver Figura 33), gracias a este registro fue posible verificar el tiempo óptimo de calibración el cual se cumplió de manera consistente tanto para el sistema de duchas como para el coronador, es decir se puede evidenciar que el ajuste o unificación de estos equipos cumple con el objetivo establecido de reducción de tiempo y un adecuado control del proceso en esta etapa de operación.

Figura 29

Registros de los tiempos de cambio de formato después de la unificación de ducha junto al coronador

Fecha	Tiempo	Tiempo IDEAL	Perdida	Equipamiento	Comentario	Categoría
1/16/25	210	90	120	Cambio de formato	Cambio de formato de sol 330 a Biela reserva 600 se espe	330 - 600
1/23/25	160	90	70	Cambio de formato	Se cambia de formato de Heineken 600 a Heineken 330	600 - 330
7/1/25	156	90	66	Cambio de formato	Cambio de Amstel 600 a Amstel 330 se ajusta altura de	600 - 330
7/2/25	55	90	-35	Cambio de formato	Cambio de Amstel a Heineken 330cc	Cerveza
7/23/25	84	90	-6	Cambio de formato	Cambio de formato de Heineken a Amstel 330cc	Cerveza
7/24/25	90	90	0	Cambio de formato	Cambio de formato de amstel 330 a reserva 600.	330 - 600
7/31/25	134	90	44	Cambio de formato	Cambio de formato de Biela reserva 600 a Amstel 330cc	600 - 330
6/8/25	144	90	54	Cambio de formato	Se demora al cambio de formato ya que al hacer el	600 - 330
8/14/25	70	90	-20	Cambio de formato	Cambio de Amstel a Heineken 330cc	Cerveza
8/20/25	130	90	40	Cambio de formato	Cambio de formato de Amstel 330cc a Biela reserva 600cc	330 - 600
8/26/25	60	90	-30	Cambio de formato	Cambio de formato de Amstel 600cc a Sol 330cc	600 - 330
8/27/25	108	90	18	Cambio de formato	Cambio de formato de 330cc Heineken a Amstel	Cerveza
9/3/25	120	90	30	Cambio de formato	Cambio de formato de amstel 330 a reserva 600.	330 - 600
9/10/25	166	90	76	Cambio de formato	Se cambia de Heineken 330 a Biela Reserva 600	330 - 600
9/11/25	50	90	-40	Cambio de formato	Problema con la montatura de la macanilla en	330 - 600
9/17/25	194	90	104	Cambio de formato	Cambio de formato de amstel 330 a reserva 600.	330 - 600
9/17/25	113	90	23	Cambio de formato	Cambio de formato de 600cc Biela Reserva a 330cc	600 - 330
9/22/25	205	90	115	Cambio de formato	Heineken Problema en lavadora se anota hombr	600 - 330
9/23/25	114	90	24	Cambio de formato	Cambio de formato de 330cc Heineken a Amstel	Cerveza
					Cambio de formato de Heineken 600 a 330cc. Calibracion	600 - 330
					del HPI IET	Cerveza
					Cambio de Amstel a Heineken 330cc	Cerveza

3.2.3. Control de implementación de la solución S4 (Poka Yoke)

De acuerdo con la fase de control, se realizó la primera auditoría, en la cual se verificó el estado de las guías y su correcta identificación mediante el color correspondiente al formato establecido, actividad ilustrada en la Figura 34. Para las auditorías posteriores, esta actividad será ejecutada por el coordinador de TPM, con el fin de asegurar la sostenibilidad de la mejora implementada.

Figura 30

Control visual



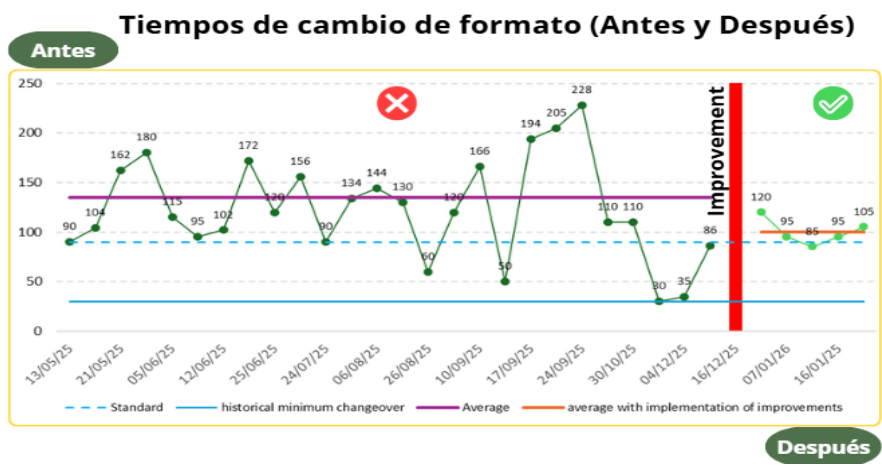
3.3. Resultados y análisis

Tras la implementación de las mejoras identificadas, se evidenció una reducción en el tiempo de cambio de formato. Si bien no se alcanzó el objetivo general establecido por la empresa, consistente en la estandarización del proceso en 90 minutos, se logró disminuir el tiempo total hasta 100 minutos. Este comportamiento puede observarse en la Figura 35, la cual presenta la serie de tiempo comparativa del desempeño del proceso antes y después de la implementación de las mejoras.

Los resultados obtenidos permitieron que los operadores contaran con un procedimiento estandarizado, accesible mediante el escaneo de un código QR, facilitando la ejecución del cambio de formato. Asimismo, la reducción de los tiempos de ajuste correspondientes a la ducha y al coronador contribuyó de manera significativa a la optimización del tiempo total del proceso. Adicionalmente, la implementación de un poka yoke actuó como una herramienta de apoyo visual, orientando al operador y favoreciendo la correcta ejecución del cambio de formato, lo que se tradujo en una mejora en la eficiencia operativa.

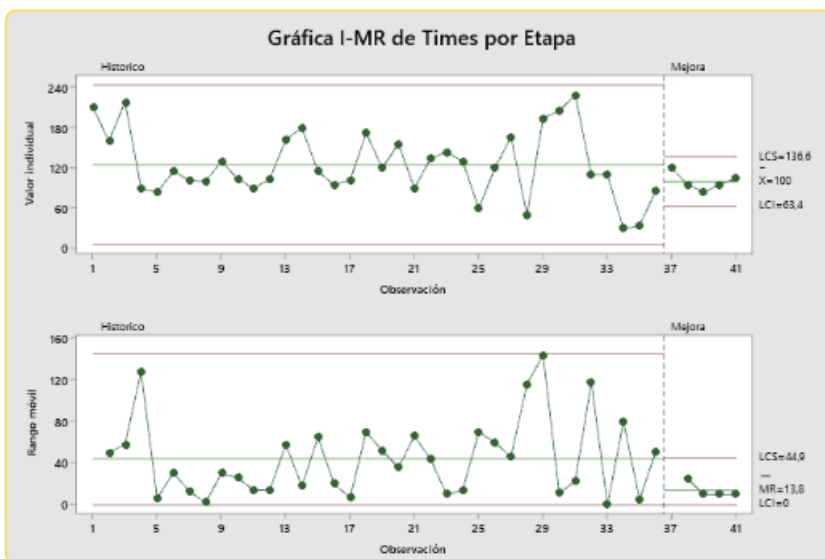
Figura 31

Serie de tiempo de los cambios de formato antes y después de la implementación de mejora



3.3.1. Carta de control del antes y después de la implementación de las mejoras

La Figura 36 muestra que se logró una mejora y que el proceso fue estabilizado, con un valor promedio de 100 minutos, el cual está más cercano al objetivo, junto con una reducción en la desviación del rango móvil, lo que indica una mayor consistencia de las observaciones dentro de los límites de control.

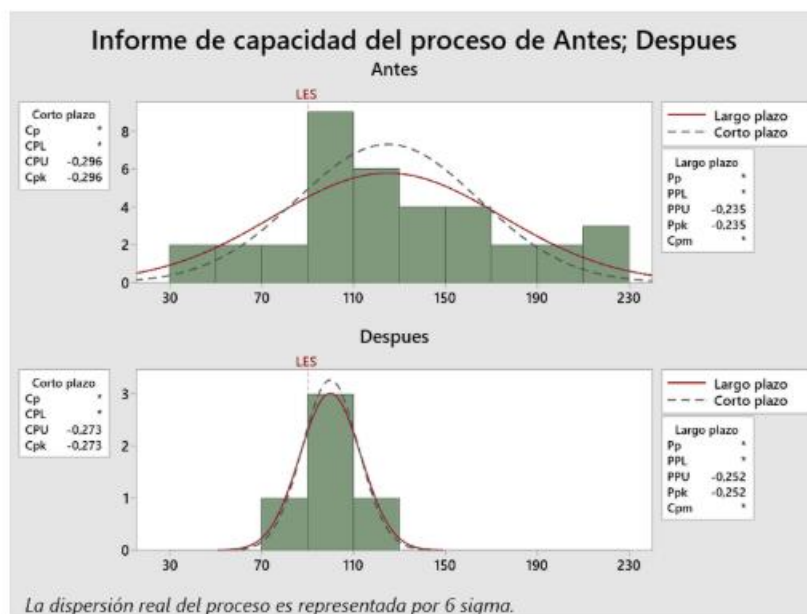
Figura 32*Carta de control*

3.3.2. Análisis de capacidad del antes y después de la implementación de mejora

Antes de la implementación, el proceso no era capaz de cumplir con las especificaciones, presentaba una alta variabilidad de 49,75 minutos y un promedio elevado de 135 minutos; sin embargo, después de la implementación de las mejoras, aunque el proceso aún no es totalmente capaz de cumplir las especificaciones, se logró reducir significativamente la variabilidad a 13,30 minutos y controlar el promedio en 100 minutos (ver figura 37). Tras analizar los datos posteriores a la implementación, los resultados todavía no son completamente precisos, pero se espera que el análisis mejore con el tiempo a medida que se consoliden las mejoras.

Figura 33

Informe de capacidad del proceso de antes y después



3.4. Justificación económica

Como resultado de las mejoras implementadas, se logró un impacto positivo en los tres pilares que integran el desarrollo sostenible y la gestión empresarial (Figura 38). En el ámbito financiero, se evidenció un incremento en el indicador OPI (Operational Performance Indicator), junto con un ahorro anual estimado de \$14.000. En el aspecto social, gracias a los controles de seguridad y a los comportamientos establecidos en el SOP, el indicador de incidentes se redujo a cero durante los cambios de formato observados. Finalmente, en el componente ambiental, la optimización del tiempo de calibración en la ducha, así como la mejora en las actividades de limpieza en las estrellas y guías, permitió reducir el consumo de agua en aproximadamente 0,3 hectolitros por cada cambio de formato, contribuyendo a una operación más eficiente y sostenible.

Figura 34*Indicadores de sostenibilidad***3.5. Plan de control**

Se estableció un plan de control con el objetivo de asegurar la sostenibilidad de la mejora implementada y garantizar que el tiempo promedio de cambio de formato se mantenga en 100 minutos. Para ello, se realizará un monitoreo periódico de los tiempos, con el fin de verificar que el comportamiento del proceso se mantenga estable y dentro del patrón esperado. En caso de detectarse desviaciones, se revisará si las mejoras implementadas continúan funcionando correctamente.

Como parte del control del procedimiento estándar, se ejecutarán auditorías para verificar su cumplimiento por parte de los operadores. Si se identifican desviaciones, se analizarán las causas, ya sea por falta de entrenamiento, necesidad de actualización del procedimiento o incumplimiento del método establecido. Esta verificación estará a cargo de los supervisores del área.

Adicionalmente, se controlará el correcto funcionamiento del poka-yoke mediante inspecciones visuales periódicas, asegurando que las guías se mantengan en condiciones óptimas (correctamente pintadas y alineadas). Asimismo, se verificará que los componentes cumplan con los tiempos de ajuste esperados, los cuales deberían haberse reducido en aproximadamente 5 minutos, y que se encuentren adecuadamente soldados y en condiciones óptimas de operación.

En la tabla que se presenta a continuación se muestra el plan de control.

Tabla 8

Plan de control

Proceso / Elemento a Controlar	Característica por Controlar	Método de Control	Frecuencia	Responsable	Criterio / Límite	Acción si No se Cumple
Cambio de formato	Tiempo total de cambio	Cronómetro / hoja de registro	En cada cambio	Operador de máquina	\leq tiempo estándar	Activar plan de reacción
Procedimiento estándar	Cumplimiento paso a paso	Revisión de tiempos controlados en reportes	En cada cambio	Supervisor	Variabilidad de tiempos controlada	Verificar cumplimiento del SOP y capacitar al operador
Componentes unificados	Ajuste automático correcto	Inspección visual	En cada cambio	Operador / Mantenimiento	Ajuste simultáneo sin holguras	Ajustar o reparar el componente
Gestión visual (colores)	Visibilidad e identificación correcta	Inspección visual	Mensual	Supervisor	Colores visibles y claramente definidos	Repintar / Re identificar

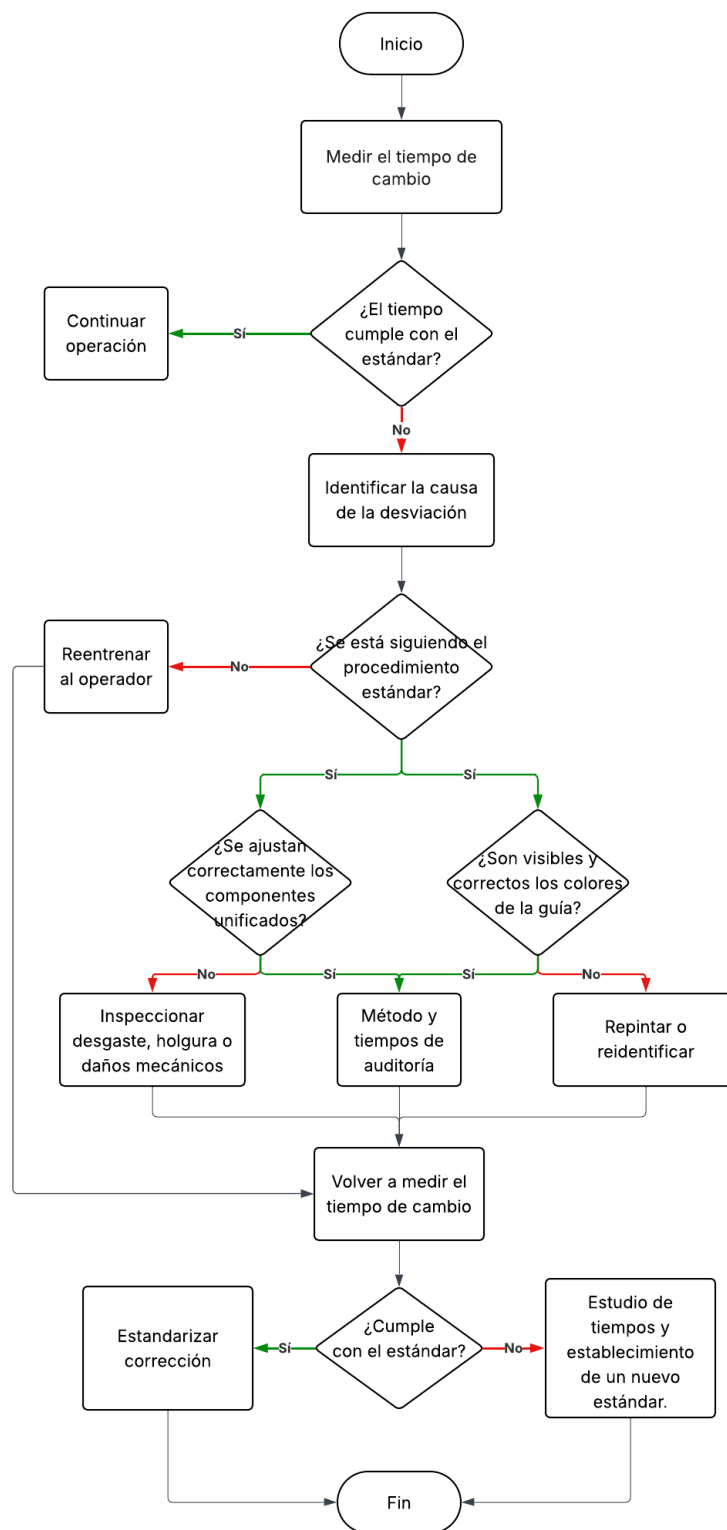
3.6. Plan de reacción

Para este proyecto, se definió un plan de reacción para garantizar la sostenibilidad de la mejora y proporcionar una respuesta sistemática cuando el tiempo de cambio de formato se desvíe del estándar (Figura 39). El flujo comienza con la medición del tiempo de cambio de formato; si el resultado se ajusta a la meta, se continúa la operación, pero si no lo cumple, se busca la causa de la desviación y se comprueba el cumplimiento del procedimiento estándar. Ante un incumplimiento, se reentrena al operador; si el procedimiento se sigue correctamente, se evalúa el estado de los componentes unificados, corrigiendo desgastes o desajustes mecánicos cuando sea necesario, y se inspeccionan los indicadores poka-yoke para asegurar que las guías de color están visibles y en buen estado, repintándolas o identificándolas de nuevo de ser preciso.

Tras cada corrección se re-mide el tiempo de cambio de formato; si alcanza el objetivo, la mejora se documenta y estandariza, y si persiste la desviación, se realiza un estudio de tiempos exhaustivo para establecer un nuevo estándar. Este planteamiento se alinea con las recomendaciones de la literatura de Lean Six Sigma, que indican que los planes de reacción deben estar programados y detallar las acciones de contención, corrección, análisis de causa raíz y escalación necesarias cuando se detectan no conformidades.

Figura 35

Plan de reacción



Capítulo 4

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

- ✓ Se logró reducir el tiempo de cambio de formato de 135 a 100 minutos, mejorando la productividad de la línea y reduciendo la variabilidad del proceso de 39.41 a 15.51 minutos, lo que optimiza la consistencia y eficiencia operativa.
- ✓ El análisis identificó que la falta de estandarización y la automatización limitada eran las principales causas de demoras en el cambio de formato. La implementación de mejoras abordó estos problemas, mejorando la eficiencia.
- ✓ Las mejoras implementadas, con un bajo costo, generaron ahorros anuales de \$14,000, aumentando la eficiencia y reduciendo los tiempos de inactividad.
- ✓ Se estableció un plan de control para garantizar la sostenibilidad de las mejoras, incluyendo un seguimiento continuo de la implementación del SOP, la automatización de la ducha de enjuague y la codificación visual de las guías, asegurando resultados consistentes en el futuro.

4.2. Recomendaciones

- ❖ Recopilar y analizar un conjunto más amplio de datos de tiempo de cambio de formato después de la implementación de las mejoras, con el fin de asegurar una evaluación precisa de la capacidad del proceso y su estabilidad a largo plazo.
- ❖ Ampliar la automatización en los puntos críticos de ajuste para reducir la dependencia del operador.
- ❖ Fortalecer la capacitación de los operadores para garantizar una adhesión consistente a los procedimientos estandarizados.

Referencias

Antony, J., & Gupta, S. (2019). *Lean Six Sigma for manufacturing excellence: A structured approach to problem solving and process improvement*. Routledge.

Antony, J., & Gupta, S. (2019). *Lean Six Sigma for manufacturing excellence: A structured approach to problem solving and process improvement*. . Routledge.

BWS. (2023). *Química cervecera y materias primas. Escuela de Formación Cervecera*.

George, M. L., Rowlands, D., Price, M., & Maxey, J. (2005). *The Lean Six Sigma pocket toolbox*. McGraw Hill Professional.

Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2013). *Control estadístico de la calidad y seis sigma (2.ª ed.)*. McGraw-Hill Interamericana.

Investopedia. (17 de Abril de 2025). Obtenido de Lean Six Sigma: Definición, principios y beneficios: <https://www.investopedia.com/terms/l/lean-six-sigma.asp>

Marcos Nathan - Gerges González. (22 de abril de 2023). *izertis*. Obtenido de El método Lean Six Sigma, clave en la mejora de procesos de tu empresa: <https://www.izertis.com/es/-/post/metodo-lean-six-sigma-mejora-procesos-de-tu-empresa>

Rodríguez, C., & León, V. (2021). Evaluación del desempeño operativo mediante el indicador OPI en líneas de producción industrial. *Revista Ingeniería Industrial*, 40(3), 60-70.

Shingo, S. (. (1985). *A revolution in manufacturing : The SMED system*. . Productivity Press.