

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

Reducción del desperdicio en el proceso de conformación de envases de dos  
piezas

INGE-3086

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingenieros Industriales**

Presentado por:

Centeno Amaguaya Galo Alexander

Mora Muñoz Maryam Marlene

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

## **Dedicatoria**

---

Dedico este proyecto a mi familia, a mis profesores y, especialmente, a mi novia, Amy Sernaqué, por su constante apoyo y acompañamiento durante todo el desarrollo del trabajo. De manera particular, quiero reconocer a mi madre, Nelly Amaguaya, cuyo respaldo incondicional, guía y confianza han sido fundamentales para alcanzar esta meta. A ambos, Amy y mi madre, les agradezco profundamente su motivación, paciencia y dedicación, que hicieron posible la culminación de este proyecto.

**Galo Alexander Centeno Amaguaya**

## **Dedicatoria**

---

La dedico este trabajo, en primer lugar, a mi familia, especialmente a mis padres, quienes han sido mi mayor apoyo desde el inicio de mi formación profesional, acompañándome con paciencia, confianza y esfuerzo constante. A Carlos, mi pareja, por su compañía, comprensión y apoyo a lo largo de este proceso, por estar presente en los momentos más exigentes y brindarme ánimo cuando más lo necesitaba. A mi mejor amiga, Dana, por ser una fuente constante de motivación e inspiración en esta etapa. Finalmente, dedico este trabajo a la memoria de mi abuelita, cuyo cariño y apoyo permanecen conmigo y me acompañan en cada paso de este logro.

**Maryam Marlene Mora Muñiz**

## Agradecimiento

---

Expreso mi más sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron al desarrollo de este proyecto, tanto dentro como fuera de la empresa. De manera particular, agradezco a José Mendieta, Miguel, Ariana y a la profesora María Fernanda López por su apoyo, orientación y valiosa colaboración. Asimismo, agradezco a la ESPOL y a la empresa por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto y por facilitar los recursos necesarios para su desarrollo. De forma especial, agradezco a mi compañera de proyecto, Maryam Mora, por su participación, compromiso y colaboración constante durante todas las etapas del trabajo.

**Galo Alexander Centeno Amaguaya**

## Agradecimiento

---

Mi más sincero agradecimiento a la institución, a los docentes de la carrera y a la tutora del proyecto integrador por su guía y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo. Asimismo, se agradece a la empresa donde se llevó a cabo el proyecto por brindar la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos, en especial a Miguel, tutor empresarial, y a los analistas José, Ariana y Danny, por su apoyo, colaboración y disposición. Finalmente, se reconoce el esfuerzo, compromiso y perseverancia personal invertidos a lo largo de este proceso para alcanzar este logro académico.

**Maryam Marlene Mora Muñiz**

## Declaración Expresa

---

Nosotros Galo Alexander Centeno Amaguaya y Maryam Marlene Mora Muñiz 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 nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de 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.



Galo Alexander Centeno  
Amaguaya



Maryam Marlene Mora  
Muñiz

## **Evaluadores**

---

---

**Sofía Anabel López Iglesias**

Profesor de Materia

---

**María Fernanda López Sarzosa**

Tutor de proyecto

## Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo reducir el porcentaje de envases defectuosos en la línea de ensamblaje de envases metálicos, con el propósito de mejorar la estabilidad del proceso productivo. Se plantea que la aplicación de acciones basadas en el control del proceso, la capacitación del personal y el fortalecimiento de la comunicación permite reducir la variabilidad y los defectos del producto final, justificándose el proyecto en la necesidad de fortalecer la calidad operativa.

Para el desarrollo del proyecto se aplicó la metodología DMAIC, utilizando registros históricos, análisis de variabilidad y entrevistas. Asimismo, se implementó acciones de mejora orientadas a la limpieza, supervisión operativa, uso de elementos de apoyo para la manipulación de envases, capacitaciones y comunicación activa.

Como principales resultados, el porcentaje promedio de envases defectuosos se redujo de 0,98 % a 0,38 %, acompañado de una disminución aproximada del 25 % en la carga laboral percibida, además de beneficios económicos y energéticos asociados.

En conclusión, el uso de la metodología DMAIC como marco de apoyo, junto con la implementación de acciones de mejora basadas en el análisis de datos, permitió alcanzar mejoras significativas el desempeño operativo y productivo.

**Palabras clave:** Variabilidad, Calidad, DMAIC, Mejora Continua.

### ***Abstract***

*The objective of this project is to reduce the percentage of defective containers in the metal container assembly line in order to improve the stability of the production process. It is proposed that the implementation of actions based on process control, personnel training, and strengthened communication allows for the reduction of variability and final product defects, justifying the project by the need to enhance operational quality.*

*For the development of the project, the DMAIC methodology was applied, using historical records, variability analysis, and interviews. In addition, improvement actions were implemented, focused on cleaning, operational supervision, the use of support elements for container handling, training sessions, and active communication.*

*As the main results, the average percentage of defective containers was reduced from 0.98% to 0.38%, accompanied by an approximate 25% reduction in perceived workload, as well as associated economic and energy benefits.*

*In conclusion, the use of the DMAIC methodology as a supporting framework, together with the implementation of improvement actions based on data analysis, made it possible to achieve significant improvements in operational and productive performance.*

***Keywords:*** *Variability, Quality, DMAIC, Continuous Improvement.*

## Índice general

Resumen.....	I
<i>Abstract</i> .....	II
Índice general.....	III
Abreviaturas.....	VI
Índice de figuras.....	VII
Índice de tablas .....	X
Capítulo 1.....	1
1. Introducción .....	2
1.1 Descripción del problema .....	3
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
Capítulo 2.....	9
2. Metodología.....	10
2.1 Definir - situación actual.....	10
2.2 Medir.....	13

2.2.1	Plan de recolección de datos .....	14
2.2.2	Verificación de plan de recolección de datos .....	16
2.3	Analizar.....	27
2.3.1	Resultados del análisis para el defecto de suciedad.....	27
2.3.2	Resultados del análisis para el defecto de golpes .....	40
2.4	Mejorar.....	49
2.4.1	Implementación de las soluciones para defecto de suciedad .....	49
2.4.2	Implementación de soluciones para el defecto de golpes.....	58
2.4.3	Capacitaciones .....	61
2.5	Plan de control para las propuestas de solución.....	61
Capítulo 3.....		63
3.	Resultados y análisis .....	64
3.1	Resultados de los indicadores de soluciones para el defecto de suciedad. ....	64
3.2	Resultados de los indicadores de soluciones para el defecto de golpes.....	66
3.3	Resultados generales .....	67
Capítulo 4.....		74
4.	Conclusiones y recomendaciones .....	75
4.1	Conclusiones .....	75

4.2 Recomendaciones .....	77
Referencias.....	78
Apéndice A .....	80
Apéndice B.....	81
Apéndice C.....	82
Apéndice D .....	83
Apéndice D.1 .....	84
Apéndice D.2 .....	85

### Abreviaturas

CTQ	Critical to Quality (Crítico para la Calidad)
DMAIC	Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
PPM	<i>Parts Per Million</i> (Partes por Millón)
Ppk	<i>Process Performance Index</i> (índice de Desempeño del Proceso)
SIPOC	<i>Supplier, Inputs, Process, Output, Customer</i> (Proveedor, Entradas, Proceso, Salidas, Cliente)
VOC	<i>Voice of Customer</i> (Voz del cliente)

**Índice de figuras**

Figura 1 Gráfico del costo total del reproceso de producto defectuoso por línea.....	11
Figura 2 Serie de tiempo del porcentaje de envases defectuosos por registro.....	12
Figura 3 Triple línea de beneficio.....	12
Figura 4 Diagrama de cajas de envases defectuosos .....	17
Figura 5 Prueba estadística T de dos muestras .....	18
Figura 6 Prueba de normalidad para datos históricos .....	19
Figura 7 Prueba de bondad del ajuste .....	20
Figura 8 Informe de capacidad para datos históricos.....	21
Figura 9 Diagrama de barras del porcentaje de envases defectuosos por tipo de lámina.....	22
Figura 10 Diferencia de medias para el tipo de lámina .....	22
Figura 11 Diagrama de cajas correspondiente al tipo de formato .....	23
Figura 12 Prueba de Kruskal-Wallis: porcentaje envases defectuosos vs tipos de formatos ..	24
Figura 14 Diagrama de Pareto de tipos de defectos.....	25
Figura 15 Diagrama de Pareto de tipos de defectos dentro del alcance.....	26
Figura 16 Lluvia de ideas para defecto: suciedad.....	28
Figura 17 Diagrama de Ishikawa para defecto: suciedad .....	29
Figura 18 Matriz causa-efecto para defecto: suciedad.....	30

Figura 19 Diagrama de Pareto para defecto: suciedad.....	31
Figura 20 Matriz impacto-control para defecto: suciedad .....	32
Figura 21 Sistema de lubricación y depósito de lubricante .....	34
Figura 22 Bitácora de limpieza de la línea vs línea actual.....	35
Figura 23 Prueba de repetibilidad y reproducibilidad.....	36
Figura 24 Envase con disolvente para limpiar las bandas .....	37
Figura 25 Lluvia de ideas para defecto: golpes .....	41
Figura 26 Diagrama de Ishikawa para defecto: golpes .....	42
Figura 27 Matriz causa-efecto para defecto: golpes .....	43
Figura 28 Diagrama de Pareto para defecto: golpes .....	43
Figura 29 Matriz impacto-control para defecto: golpes.....	44
Figura 30 Bultos de láminas golpeadas .....	46
Figura 31 Operador realizando ajustes reactivos en el troquel .....	47
Figura 32 Matriz impacto-esfuerzo de las soluciones para defecto: suciedad.....	50
Figura 33 Implementación de cartilla visual con el operador .....	51
Figura 34 Antes y después de la implementación del kit de limpieza .....	52
Figura 35 Antes y después de la implementación del hisopo de espuma .....	53
Figura 36 Indicadores de cumplimiento de limpieza.....	53

Figura 37 Bitácora de datos actualizada .....	55
Figura 38 Indicadores de la aplicación del lubricante .....	55
Figura 39 Evolución de envases retenidos desde el último cambio de rodillo .....	56
Figura 40 Indicador de cumplimiento de limpieza por parte del supervisor .....	58
Figura 41 Matriz de impacto-esfuerzo de las soluciones para defecto: golpes.....	58
Figura 42 Indicador para posicionamiento de pallets. ....	61
Figura 43 Prueba de normalidad después de la implementación de mejoras .....	68
Figura 44 Serie de tiempo post-implementación .....	69
Figura 45 Gráfico IM-R del porcentaje de envases defectuosos antes y después .....	70
Figura 46 Prueba de confiabilidad de la mejora del porcentaje de defectos.....	71
Figura 47 Análisis de capacidad del proceso después de las mejoras .....	72

## Índice de tablas

Tabla 1 Situación inicial de la triple línea de beneficio .....	13
Tabla 2 Plan de recolección de satos .....	15
Tabla 3 Datos recolectados .....	17
Tabla 4 Plan de verificación de causas para defecto: suciedad .....	33
Tabla 5 5 por qué para defecto: suciedad.....	39
Tabla 6 Propuestas de solución para defecto: suciedad .....	40
Tabla 7 Plan de verificación de causas para defecto: golpes .....	45
Tabla 8 5 por qué para defecto: golpes .....	48
Tabla 9 Propuestas de solución para defecto: golpes.....	49
Tabla 10 Estructura general del checklist de supervisión aplicado .....	57
Tabla 16 Datos del porcentaje del cumplimiento de limpieza.....	64
Tabla 17 Porcentaje de defectos por suciedad comparado con el histórico.....	65
Tabla 18 Disponibilidad del kit de limpieza .....	66
Tabla 19 Envases caídos después de la implementación de mejoras para golpes. ....	67
Tabla 20 Resumen de resultados del porcentaje de defectos.....	70
Tabla 21 Resultados de la triple línea de beneficio antes y después de las mejoras.....	73

# Capítulo 1

## 1. Introducción

La fabricación de envases metálicos es un proceso empleado dentro de la industria de alimentos y bebidas, este sistema productivo transforma una lámina de metal en un envase con características de acuerdo con la industria. Sin embargo, Zambrano (2015), menciona que dentro del proceso existen variaciones que pueden generar defectos que no cumplen con la calidad esperada. Esto es crítico, puesto que, según el Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca del Ecuador (2024), en su estudio de mercado un alimento envasado significativo en la industria menciona que existe un incremento de la demanda de un 4,6% anual desde el 2024 hasta el 2032, y al tener variaciones dentro del proceso, no se logra cumplir con la producción esperada. Bajo este escenario, la presencia de variaciones en el proceso productivo dificulta cumplir con los volúmenes de producción requeridos para atender dicha demanda.

Por consiguiente, la presencia de envases no conformes representa una afectación a las empresas en la eficiencia operativa, aprovechamiento de material, cumplimiento de demanda y al uso de energía (Kareem, Mohammed, & Abdulwahab, 2022). Esto resulta importante para toda una empresa puesto que afecta a los costos de producción, por lo cual la reducción de estos desperdicios contribuye a aumentar compromisos ambientales, políticas de producción y minimizar los desperdicios de materia prima.

La problemática se presenta dentro de una empresa del sector industrial dedicada a la fabricación de envases metálicos en donde los desperdicios generados en el proceso de embutido afectan al desempeño que pueden derivar en reprocesos o la necesidad de ajustes reactivos. Por lo tanto, el informe se orienta en el análisis del proceso de embutido de envases

metálicos dentro de la línea de producción, identificando las causas y elaborando propuestas de mejora.

Este informe integra distintas áreas de conocimiento de la Ingeniería Industrial, como los principios de manufactura para comprender el comportamiento de la producción de envases metálicos, identificación de causas raíz y la implementación de herramientas de mejora continua. Asimismo, se aplican conceptos de estadísticas y análisis para identificar patrones de variabilidad y determinar la relación con el proceso.

A lo largo del informe, se mantiene una estructura organizada que facilita la comprensión del desarrollo del proyecto. El capítulo 1 presenta el contexto general y la problemática identificada en la empresa. El capítulo 2 expone las metodologías empleadas, junto con las restricciones y especificaciones propias del proceso productivo. En el capítulo 3 se describen los resultados obtenidos y el análisis de las propuestas de mejora. Finalmente, el capítulo 4 recoge las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio, fundamentadas en los hallazgos del capítulo anterior.

## **1.1 Descripción del problema**

En la actualidad, el sistema productivo de una empresa del sector industrial dedicada a la fabricación de envases metálicos presenta desviaciones que generan productos defectuosos, afectando la estabilidad del proceso. La problemática se manifiesta en variaciones dentro del proceso productivo, las cuales están relacionadas con los parámetros y variables de interés como el tipo de formato a embutir y los diferentes tipos de defectos generados.

Es importante señalar que el desarrollo del proyecto se encuentra sujeto a diversas restricciones, entre las que se incluyen la ausencia de presupuesto para implementar mejoras

que requieran inversión adicional, trabajar dentro de la configuración actual de la línea de producción y un plazo máximo de tres meses para el desarrollo del proyecto. Además, no se contempla la contratación de nuevo personal, y las mediciones deben realizarse sin interrumpir la continuidad operativa.

## **1.2 Justificación del problema**

La presencia de variaciones en el proceso de producción de envases metálicos constituye un desafío relevante para la empresa, debido a que estas desviaciones incrementan la generación de productos no conformes y afectan directamente la eficiencia operativa. Atender esta problemática resulta fundamental porque los defectos derivados del proceso de embutido generan desperdicios de materia prima, reprocesos, retrasos en la producción, y un mayor consumo de energía, incrementando los costos asociados al sistema productivo.

En este contexto, el presente proyecto se justifica por la necesidad de analizar y reducir el porcentaje de envases defectuosos en la línea de producción de envases metálicos de dos piezas, la cual presenta elevados niveles de defectos desde septiembre de 2024.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Reducir el porcentaje de envases defectuosos en la línea de producción de la planta en un período de tres meses, mediante la implementación de la metodología DMAIC, con el fin de diseñar propuestas de solución que aumenten la proporción de envases conformes.

### 1.3.2 Objetivos específicos

1. Identificar los principales factores del proceso productivo que contribuyen a la generación de los diferentes tipos de defectos en los envases metálicos.
2. Implementar acciones de mejora orientadas a la reducción del porcentaje de envases defectuosos y al fortalecimiento de la eficiencia operativa del proceso.
3. Evaluar la efectividad de las acciones de mejora implementadas, verificando que el porcentaje de defectos por registro se mantenga dentro del valor objetivo establecido.

### 1.4 Marco teórico

Para la identificación de problemas y el planteamiento de soluciones dentro de la empresa se emplea la metodología DMAIC. De acuerdo con Vargas, Alcaraz, Satapathy, Díaz-Reza y Lobato (2024), esta metodología se secciona en 5 partes claramente definidas: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, las cuales siguen un enfoque estructural y secuencial. Los autores señalan que DMAIC resulta adecuada para la obtención de mejoras dentro de un enfoque a corto plazo. Asimismo, Pyzdek y Keller (2023) indican que esta metodología se encuentra integrada dentro del enfoque Seis Sigma, el cual establece que el proceso de estabilidad constituye un elemento clave para la mejora del desempeño organizacional.

La fase de Definir se enfoca en la recopilación de información esencial sobre el proceso, las necesidades del cliente interno y los requerimientos de la organización. En esta etapa se establece el alcance del proyecto y se selecciona la variable o indicador principal que permitirá medir el desempeño del proceso, el cual debe alinearse con los objetivos estratégicos de la empresa y representar de manera objetiva la problemática a abordar.

Dentro de esta fase, The Council for Six Sigma Certification (2018) propone el uso de herramientas para estructurar la información inicial. Entre ellas se encuentra el diagrama SIPOC, el cual permite identificar de manera general y concisa a los proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes involucrados, proporcionando una visión global del flujo principal del proceso y su contexto operativo.

Otra herramienta sugerida para comprender el contexto organizacional es la Voz del Cliente (VOC). Según Yang (2007), esta herramienta resalta la importancia de escuchar a las personas involucradas en el proceso, realizando una metáfora comparando la recopilación de información relevante con la búsqueda de oro, debido al alto valor que representa para la mejora del desempeño. Asimismo, el autor destaca la necesidad de organizar dicha información mediante el uso de herramientas complementarias como el diagrama de afinidad, el cual permite agrupar ideas o comentarios dentro de categorizaciones para posteriormente priorizar según su impacto en la variable a investigar.

Adicionalmente, Tokgoz (2024) señala la importancia de aplicar la herramienta del árbol CTQ (Critical to Quality), herramienta que permite identificar y estructuran los indicadores derivados de la información recopilada, respondiendo de manera directa a la pregunta: “¿Cuáles son las expectativas del cliente?”. De esta forma, se integran las observaciones, percepciones y necesidades del cliente dentro de un enfoque de mejora continua, validando los indicadores previamente definidos, otorgándoles mayor coherencia y sustento dentro del proyecto.

La fase de Medir se centra en la recopilación, cuantificación y análisis estadístico de las variables del proceso, con el fin de evaluar su comportamiento real. En esta etapa se verifica la calidad y confiabilidad de los datos, y se analiza si determinadas variables tienen

un impacto significativo sobre el indicador principal del desempeño. Para ello, es necesario aplicar herramientas y pruebas estadísticas que permitan validar que la información obtenida represente fielmente la situación actual del proceso dentro de la empresa.

En esta etapa, una de las herramientas más utilizadas son las cartas de control. Según González (2014), estas constituyen un recurso gráfico que permite monitorear la variabilidad del proceso a través de límites previamente establecidos, con el fin de identificar comportamientos anómalos o patrones fuera de lo esperado. Su aplicación facilita la detección de posibles causas que generan dispersión en las variables analizadas, proporcionando una base estadística para comprender mejor la estabilidad y el desempeño del proceso.

Asimismo, el análisis de capacidad del proceso constituye una herramienta fundamental. Pulido y Salazar (2013) indican que esta técnica estadística permite evaluar la variabilidad del proceso en relación con los parámetros establecidos por la metodología Seis Sigma. Para que el análisis sea válido, la distribución de los datos debe ajustarse adecuadamente a un modelo estadístico, idealmente normal, y no debe presentar comportamientos atípicos o causas especiales de variación.

La siguiente fase, denominada Analizar, se centra en identificar y comprender las causas raíz del problema. En esta etapa se verifica si las causas detectadas guardan coherencia con el comportamiento del indicador principal definido en la fase de Definir. El propósito es evaluar, mediante herramientas analíticas y estadísticas, cuáles de las causas potenciales tienen un impacto real y significativo sobre el desempeño del proceso. De esta manera, el análisis permite diferenciar entre causas superficiales y causas verdaderamente

críticas, orientando los esfuerzos de mejora hacia los factores que contribuyen directamente al problema.

En esta fase, una de las herramientas fundamentales para el análisis de causas es el diagrama de Ishikawa. De acuerdo con Saeger y Feys (2016), esta herramienta permite identificar y organizar de manera estructurada las posibles causas de un problema, clasificándolas en categorías como material, método, entorno, maquinaria y mano de obra, lo que facilita visualizar de manera estructurada los factores que pueden estar generando la variación en el proceso.

De forma complementaria, se emplea la técnica de los “5 ¿Por qué?”, la cual, según Oliveira (2021), permite profundizar en el análisis del problema hasta identificar las causas esenciales o raíz. Su aplicación facilita comprender si la causa detectada tiene o no un impacto directo sobre el indicador de desempeño definido en la metodología DMAIC, permitiendo así distinguir entre factores superficiales y causas que realmente generan la variación del proceso.

En la fase de Mejorar, se lleva a cabo la evaluación de las acciones de mejora propuestas en función de las causas raíz identificadas en la etapa anterior. Durante esta fase se recopila y analiza información sobre el desempeño del proceso tras aplicar cada mejora, con el fin de determinar su efectividad y contribución a la reducción del problema.

Finalmente, en la fase de Controlar se orienta a asegurar la sostenibilidad de las mejoras implementadas. En esta etapa se establecen mecanismos de seguimiento y control para garantizar la estabilidad del proceso a lo largo del tiempo, estandarizando las prácticas adoptadas y previniendo la reaparición de desviaciones o condiciones de descontrol.

## **Capítulo 2**

## **2. Metodología.**

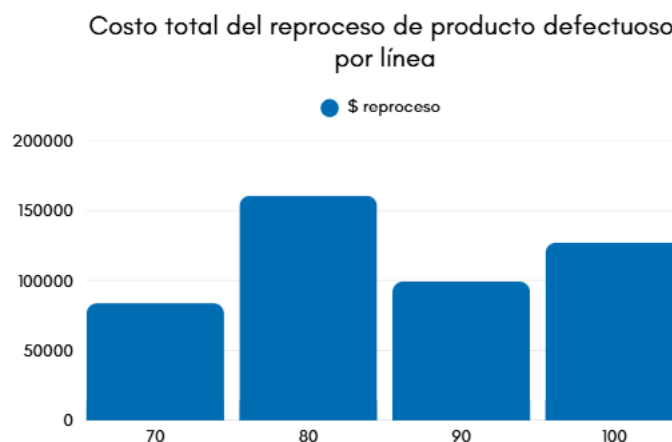
El proyecto se desarrolló implementando la metodología DMAIC, permitiendo reducir la variabilidad y mejorar de forma continua el desempeño de los procesos. Durante la fase inicial se definió con claridad el problema, estableciendo sus límites, impacto y métricas críticas. Posteriormente, se procedió al levantamiento de la información actual del proceso, lo que permitió elaborar un plan de recolección de datos alineado con los objetivos del proyecto. El análisis permitió focalizar el problema en las causas con mayor impacto y orientar las actividades de mejora hacia soluciones efectivas y sostenibles. Se implementaron acciones correctivas y estandarizadas para optimizar los procesos identificados, asegurando que las soluciones fueran prácticas y de fácil aplicación. Finalmente, se establecieron mecanismos de seguimiento, indicadores y procedimientos estandarizados que garantizan la sostenibilidad de las mejoras y permiten monitorear la estabilidad del proceso a lo largo del tiempo.

### **2.1 Definir - situación actual**

Para determinar la existencia del problema, se analizaron los costos asociados a los reprocesos generados por envases defectuosos. Como se muestra en la Figura 1, la línea de producción 80 es aquella que contribuye en mayor medida a dichos costos. Este resultado evidenció que dicha línea registra los valores más altos de reproceso, lo que confirmó su relevancia como principal foco del problema.

**Figura 1**

*Gráfico del costo total del reproceso de producto defectuoso por línea*



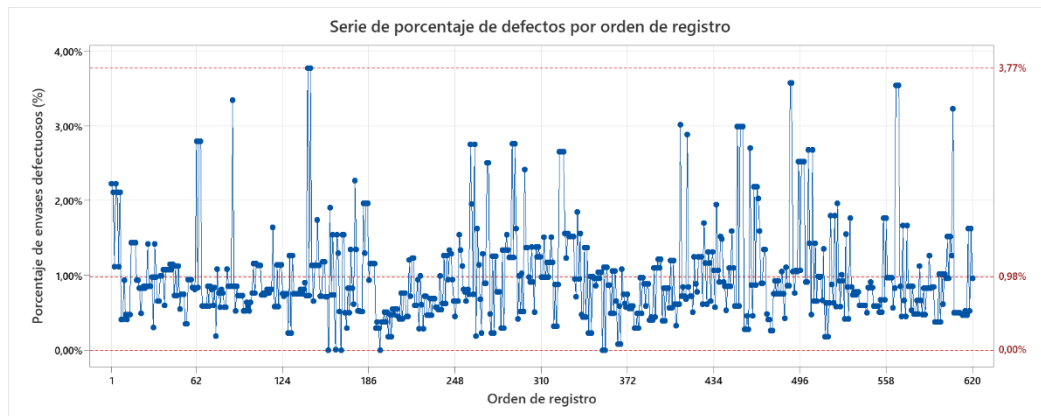
Ante esta situación, surgió la necesidad de definir el indicador más adecuado para evaluar el desempeño del proceso y del proyecto. Para ello, se analizaron y estructuraron las necesidades en conjunto con la empresa. A partir de este análisis, se determinó que el indicador principal sería el porcentaje de envases defectuosos por registro, considerando tanto los comentarios de los actores involucrados en el proceso como su impacto directo en la cantidad de unidades no conformes.

Asimismo, se efectuó un análisis de serie de tiempo para evaluar la evolución del porcentaje de envases defectuosos por registro durante el período histórico comprendido entre septiembre de 2024 a septiembre de 2025, esta se presenta en la Figura 2 con el fin de establecer la línea base del desempeño del proceso. Se determinó que el promedio histórico del indicador es de 0.98%, mientras que el mejor desempeño observado corresponde a un 0% de defectos. Esta diferencia evidenció una brecha relevante entre el desempeño promedio del proceso y su nivel óptimo, lo que confirmó la existencia de oportunidades de mejora. Por

ello, se definió como meta reducir al menos el 50% de dicha brecha mediante la implementación de acciones orientadas a la mejora del proceso productivo.

**Figura 2**




*Serie de tiempo del porcentaje de envases defectuosos por registro*



Adicionalmente, se adoptó un enfoque integral para el análisis, incorporando un marco de sostenibilidad. Con este propósito, se empleó el modelo de la Triple Línea de Beneficio, mostrado en la Figura 3, que considera de manera simultánea tres dimensiones: el rendimiento económico, el impacto ambiental y el bienestar de las personas.

**Figura 3**

*Triple línea de beneficio*

 <b>ECONÓMICO</b>	 <b>SOCIAL</b>	 <b>AMBIENTAL</b>
<p>% de envases defectuosos</p>	<p>Nivel de satisfacción y carga percibida de los operadores durante el proceso productivo del envase de 2 piezas</p>	<p>Uso de energía efectiva</p>
$\frac{N \text{ envases de defectuosos}}{N \text{ total de envases}} \times 100$	<p>(Escala de Likert : 1 – 5) Antes y después de la implementación</p>	$\text{Energía de línea por hora} \times \frac{\text{Unidades de defectuosas totales}}{\text{Velocidad de línea}}$

Los indicadores correspondientes a los pilares económico y ambiental se calcularon a partir del análisis del porcentaje histórico de envases defectuosos, mientras que el pilar social se evaluó mediante la aplicación de una encuesta a los actores involucrados en el proceso, con el fin de conocer la percepción sobre la carga laboral.

**Tabla 1**

*Situación inicial de la triple línea de beneficio*

Económico	Social	Ambiental
USD 2 350	3,3 carga laboral percibida	9,3 kW

Estos valores representaron la situación inicial del proceso y sirvieron como referencia para medir el impacto de las acciones de mejora. En la Tabla 1 se observa que, en el pilar económico, la generación de envases defectuosos representó un costo aproximado de USD 2 350 y un consumo energético asociado de 9,3 kW, lo cual afectó también en el pilar ambiental. Por otra parte, en relación con el pilar social, la carga laboral percibida presentó un valor promedio de 3,3, considerando una escala de 1 a 5, donde 1 representó la menor carga laboral percibida y 5 la mayor, evidenciándose que la percepción de la carga laboral se encontró ligeramente por encima del valor medio de la escala. Estos datos iniciales permitieron identificar oportunidades de mejora y constituyeron la base para evaluar la efectividad de las acciones implementadas en el proyecto.

## **2.2 Medir**

En esta fase se estableció el desempeño inicial del proceso, mediante la identificación y cuantificación de las variables que inciden en el problema planteado. Para ello, se

implementó un plan de recolección de datos que permitió obtener información representativa sobre las condiciones actuales del proceso. Esto facilitó la evaluación de su comportamiento real, la validación de la calidad de los datos recopilados y la orientación del análisis hacia los aspectos más críticos que requirieron intervención.

### **2.2.1 Plan de recolección de datos**

Para disponer de información confiable sobre el proceso, se diseñó un plan de recolección de datos. Este plan presentado en la Tabla 2, permitió asegurar que los datos recopilados sean suficientes, representativos y adecuados para describir el comportamiento real del proceso.

**Tabla 2***Plan de recolección de datos*

Medición Operativa	Unidad de medida	Tipo de dato	¿Dónde recolectar?	¿Cuándo ha sido recolectado?	Método de colección	¿Por qué recolectar esos datos?	Persona que recolecta los datos	Factores de estratificación
Porcentaje de envases defectuosos	Porcentaje	Continua	Software Interno	Desde septiembre del 2024	Datos del software (Aprox 500 datos)	Determinar la cantidad de envases defectuosos con respecto al total	Galo Centeno & Maryam Mora	Por defecto Por formato Por tipo
Tiempo neto de operación	Horas	Continua	Software Interno	Desde septiembre del 2024	Datos del software (Aprox 500 datos)	Evaluar si el tiempo neto de operación cambia	Galo Centeno & Maryam Mora	Por tipo de lámina Por formato
Satisfacción y carga percibida del operador	Escala Likert	Continua	Planta	Desde noviembre del 2025	Encuesta (Aprox. 8 datos)	Evaluar si la carga del operador afecta en las unidades de desperdicios	Galo Centeno & Maryam Mora	Por turno
Uso de energía Efectiva	Porcentaje	Continua	Software Interno	Desde noviembre del 2025	Datos del software (Aprox. 500 datos)	Cuantificar cuanta energía se evitó usar	Galo Centeno & Maryam Mora	Por turno
Eficiencia de producción de envases	Unidades	Continua	Software Interno	Desde septiembre del 2024	Datos del software (Aprox. 500 datos)	Evaluar si la eficiencia de la producción varía	Galo Centeno & Maryam Mora	Por formato Por lámina

## **2.2.2 Verificación de plan de recolección de datos**

Para garantizar la calidad y precisión de la información utilizada en el proyecto, se llevó a cabo un proceso de verificación de datos que combinó observación directa en planta y análisis estadístico. El objetivo fue confirmar las diferentes hipótesis:

- Los datos son confiables.
- Los factores, tipo de lámina y formato de envase, influyen directamente con el porcentaje de envases defectuosos.
- Se identifican los tipos de defectos más frecuentes.

Esto permitió validar la confiabilidad de la base de datos antes de continuar con el análisis detallado del porcentaje de envases defectuosos.

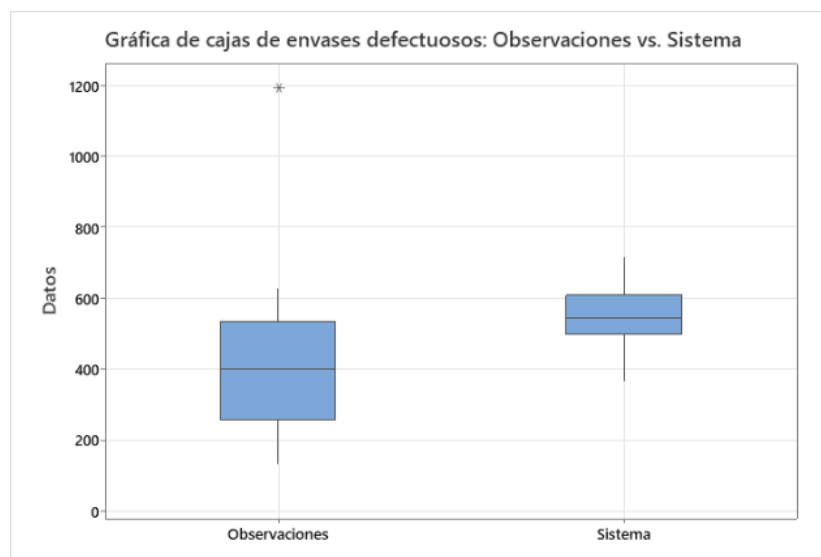
### **2.2.2.1 Confiabilidad de los datos**

Con el fin de evaluar la confiabilidad del porcentaje de envases defectuosos, se ejecutó una prueba estadística, donde se recopilaron nueve registros correspondientes a la cantidad de envases defectuosos reportados en el proceso. Cada registro se comparó con el valor reportado por el operador y el valor registrado en el sistema, como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3***Datos recolectados*

Datos observados	Datos del Sistema
336,35	615,42
399,28	517,66
130,20	489,25
260,40	570,49
629,30	543,32
251,72	600,11
440,51	716,56
440,51	505,86
1195,67	365,32

*Nota.* Datos de envases defectuosos recolectados durante 9 días consecutivos.

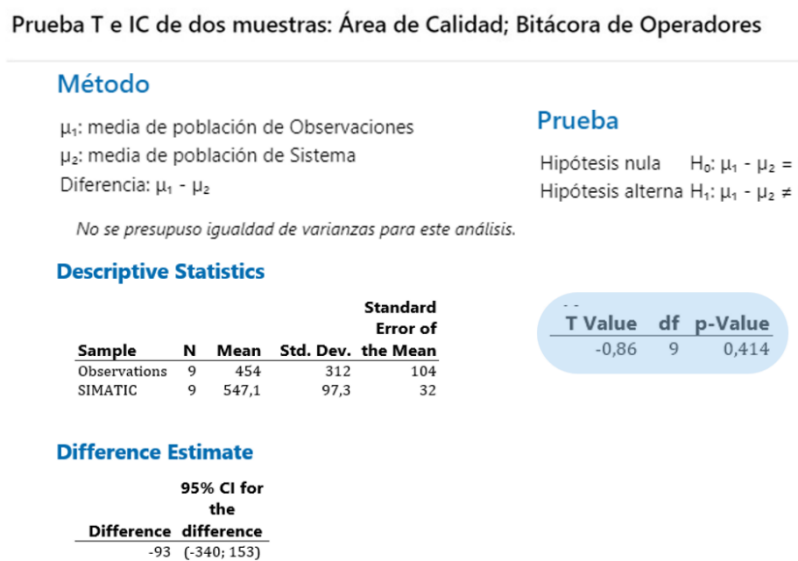
**Figura 4***Diagrama de cajas de envases defectuosos*

En la Figura 4 se presenta el diagrama de cajas, el cual permitió visualizar la dispersión de los datos y la comparación de las medianas entre las dos fuentes. En dicha figura se observan ligeras diferencias en la variabilidad, las cuales no resultan concluyentes a nivel descriptivo. Por esta razón, con el fin de determinar si las diferencias observadas eran estadísticamente significativas, se aplicó una prueba t de dos muestras, seleccionada debido al

tamaño de la muestra, cuyos resultados se muestran en la Figura 5. El análisis arrojó un valor  $p$  de 0,414, superior al nivel de significancia de 0,05, lo que indica que no existen discrepancias relevantes entre los datos reportados por el operador y los registrados en el sistema.

**Figura 5**

*Prueba estadística T de dos muestras*



Los resultados mostrados indicaron que tanto los datos registrados junto al operador como los datos del sistema registraron la información de manera consistente. En consecuencia, los datos recolectados se consideraron confiables y representativos para su uso en el análisis.

### 2.2.2.2 Estratificación de la variable

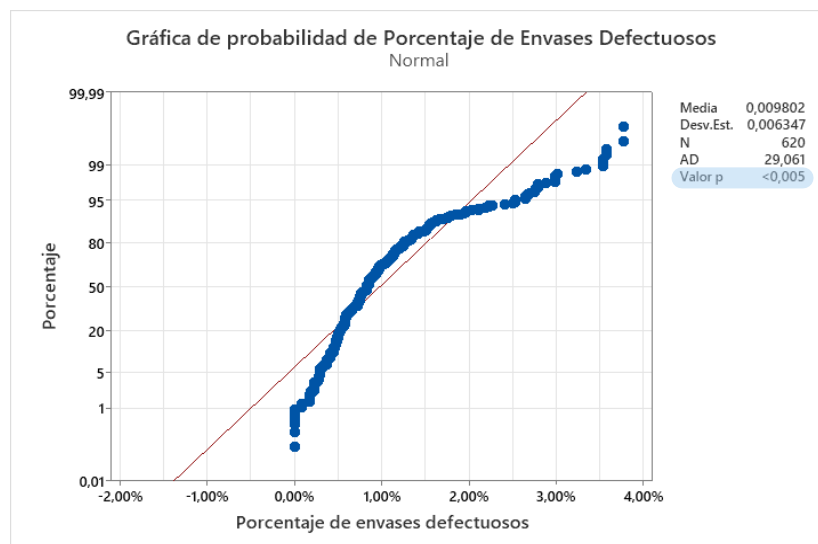
Con el objetivo de comprender cómo se comportaron los defectos bajo distintas condiciones de operación, se realizó una estratificación de la variable por tipo de lámina y por formato del envase. Esta segmentación permitió identificar patrones específicos, así como

diferencias en el desempeño de los materiales y comportamientos particulares según el tipo de producción.

Previo al análisis descriptivo, se aplicó una prueba de normalidad a los datos históricos con el fin de verificar el cumplimiento de los supuestos estadísticos, cuyos resultados se presentan en la Figura 6. El análisis arrojó un valor p inferior a 0,005, lo que indica que los datos no siguen una distribución normal.

### Figura 6

*Prueba de normalidad para datos históricos*



Posteriormente, se realizó una prueba de bondad de ajuste con el fin de identificar la distribución estadística que mejor represente el comportamiento de la variable previamente definida. Los resultados de la prueba, presentados en la Figura 7, indican que la distribución Gamma de 3 parámetros es la que presenta el mejor ajuste a los datos, al registrar el menos estadístico de Anderson-Darling en comparación con las demás distribuciones.

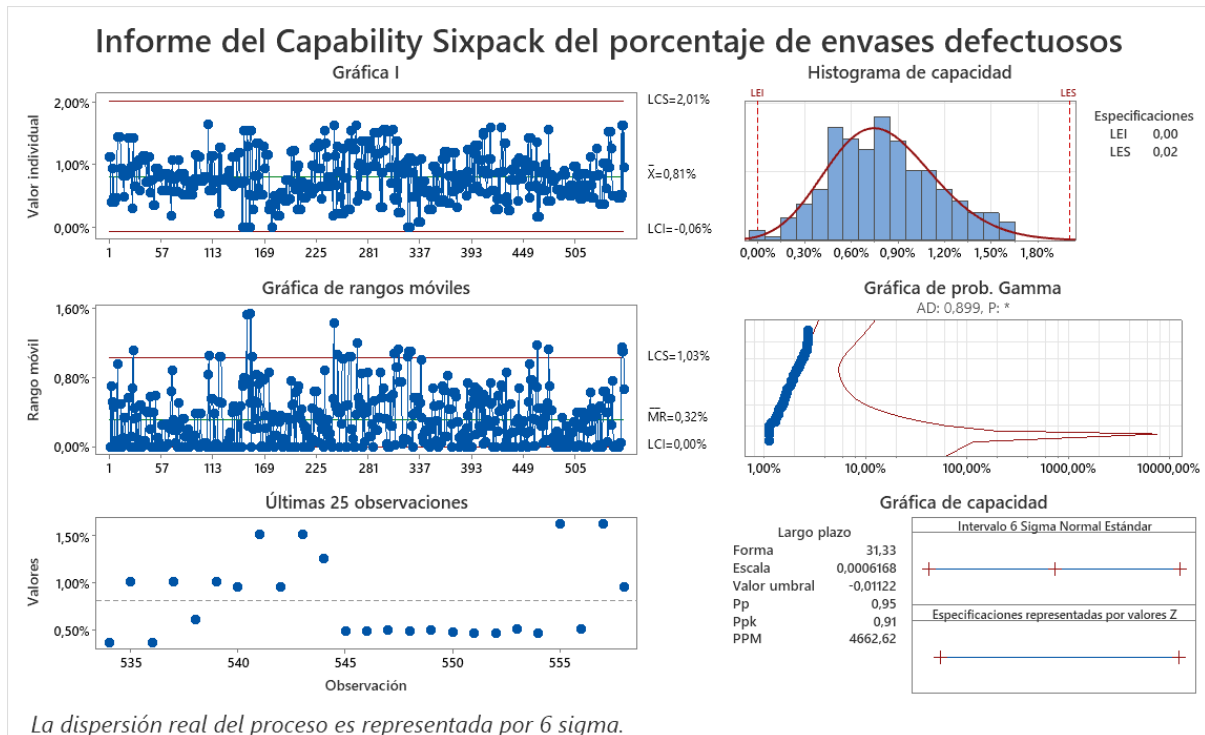
**Figura 7***Prueba de bondad del ajuste***Prueba de bondad del ajuste**

Distribución	AD	P	LRT	P
Normal	2,261	<0,005		
Transformación Box-Cox	0,920	0,019		
Lognormal	32,300	<0,005		
Lognormal de 3 parámetros	0,925	*	0,000	
Exponencial	81,295	<0,003		
Exponencial de 2 parámetros	81,361	<0,010	1,000	
Weibull	1,908	<0,010		
Weibull de 3 parámetros	1,374	<0,005	0,000	
Valor extremo más pequeño	12,096	<0,010		
Valor extremo por máximos	2,267	<0,010		
Gamma	8,110	<0,005		
Gamma de 3 parámetros	0,899	*	0,000	
Logística	2,358	<0,005		
Loglogística	5,217	<0,005		
Loglogística de 3 parámetros	1,314	*	0,000	

Con base en la distribución seleccionada, se llevó a cabo el análisis de capacidad del proceso, cuyos resultados se muestran en la Figura 8. El análisis evidencia valores de Pp de 0,95 y Ppk de 0,91, ambos inferiores a la unidad, así como un nivel de defectos estimado de PPM de 4 662,62, lo que indica que, si bien el proceso se encuentra bajo control estadístico, no es capaz de cumplir de manera consistente con los límites de especificación establecidos por la empresa.

Figura 8

Informe de capacidad para datos históricos



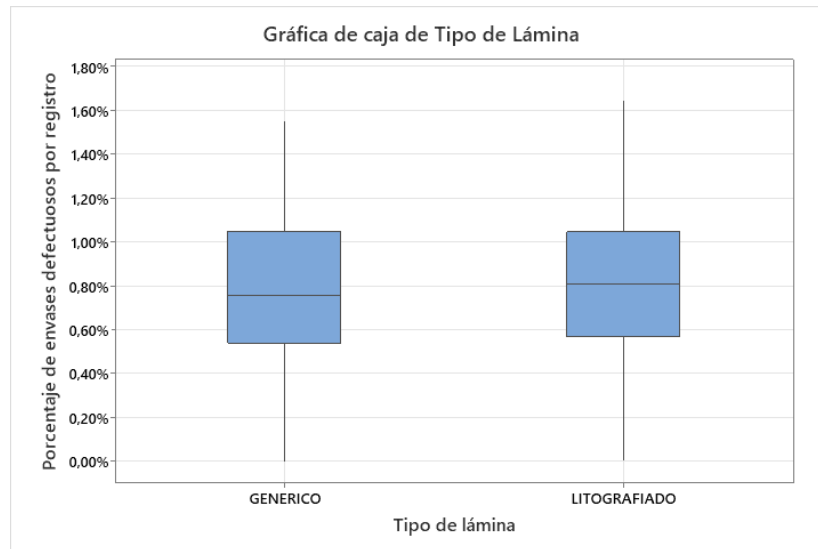
### 2.2.2.2.1 Estratificación por tipo de lámina

El primer análisis se enfocó en comparar el desempeño de dos categorías de lámina utilizadas en la fabricación de envases: lámina genérica y lámina litografiada. La lámina genérica corresponde a envases sin impresión gráfica, mientras que la lámina litografiada incorpora diseños e información impresos directamente en el material.

Con el objetivo de evaluar el impacto del tipo de lámina en el porcentaje de envases defectuosos por registro, se elaboró un diagrama de cajas, cuyos resultados se presentan en la Figura 9. En dicha figura se observa que la dispersión y la tendencia central son muy similares, con un porcentaje promedio aproximado de 0,75% para lámina genérica y 0,81% para lámina litografiada.

**Figura 9**

Diagrama de barras del porcentaje de envases defectuosos por tipo de lámina



Dado que los datos no cumplían con el supuesto de normalidad, se seleccionó la prueba de Kruskal-Wallis, una prueba no paramétrica utilizada para comparar las medias de una variable entre dos o más grupos cuando los datos no cumplen con dicho supuesto. En este caso, se aplicó para evaluar si el tipo de lámina influye de manera significativa en la distribución del porcentaje de envases defectuosos.

**Figura 10**

Diferencia de medias para el tipo de lámina

#### Estadísticas descriptivas

Lamina	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
GENERICO	241	0,0075729	272,1	-0,94
LITOGRAFIADO	317	0,0081031	285,1	0,94
General	558		279,5	

#### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : Todas las medianas son iguales  
 Hipótesis alterna  $H_1$ : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	1	0,89	0,345
Ajustado para empates	1	0,89	0,345

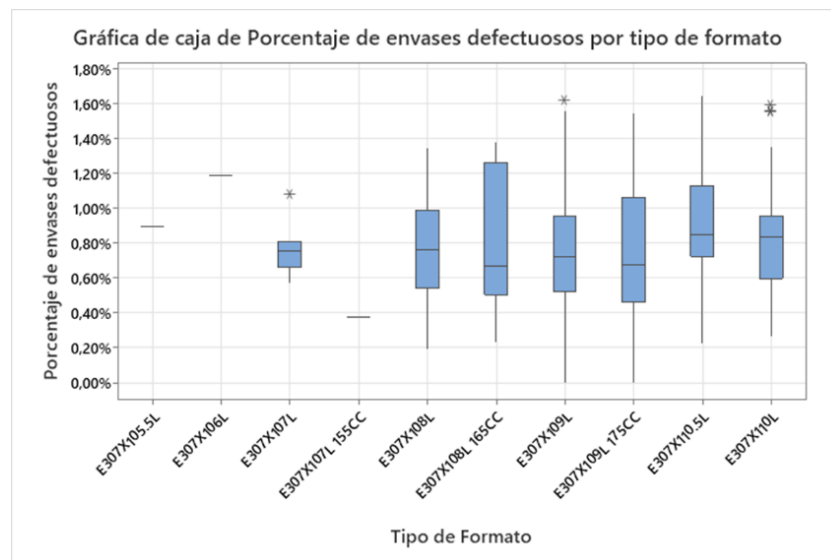
De acuerdo con lo mostrado en la Figura 10, el estadístico arrojó un valor p de 0,345. Dado que este valor es mayor al nivel de significancia establecido ( $\alpha = 0.05$ ), no se rechazó la hipótesis nula, la cual planteaba que no existen diferencias significativas en las medias del porcentaje de defectos entre ambos tipos de lámina. Esto significa que el tipo de lámina no tiene un efecto relevante sobre la presencia de defectos en el proceso.

#### 2.2.2.2.2 Estratificación por tipo de formato

El segundo análisis se centró en determinar si el tipo de formato del envase influía en la distribución del porcentaje de defectos. Se elaboró un diagrama de cajas para cada formato como se observa en la Figura 11, permitiendo apreciar diferencias visuales entre grupos, incluyendo mediana, dispersión y presencia de valores atípicos.

**Figura 11**

*Diagrama de cajas correspondiente al tipo de formato*



Al igual que en el análisis previo, se evaluó la normalidad de los datos y se determinó que ningún grupo seguía una distribución normal. Debido a esto y al hecho de que se estaban comparando más de dos grupos, se seleccionó la prueba de Kruskal–Wallis.

**Figura 12**

*Prueba de Kruskal-Wallis: porcentaje envases defectuosos vs tipos de formatos*

**Prueba de Kruskal-Wallis: Porcentaje defectos vs. Formato**

**Estadísticas descriptivas**

Formato	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
E307X105.5L	2	0,0089231	355,5	0,67
E307X106L	2	0,0118516	474,5	1,71
E307X107L	13	0,0075729	264,4	-0,34
E307X107L 155CC	4	0,0037766	48,5	-2,88
E307X108L	22	0,0076121	275,1	-0,13
E307X108L 165CC	30	0,0066693	266,9	-0,44
E307X109L	172	0,0072101	250,1	-2,88
E307X109L 175CC	66	0,0067623	244,3	-1,89
E307X110.5L	178	0,0085007	324,7	4,53
E307X110L	69	0,0083364	285,2	0,31
General	558		279,5	

**Prueba**

Hipótesis nula  $H_0$ : Todas las medianas son iguales  
 Hipótesis alterna  $H_1$ : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	9	34,86	0,000
Ajustado para empates	9	34,86	0,000

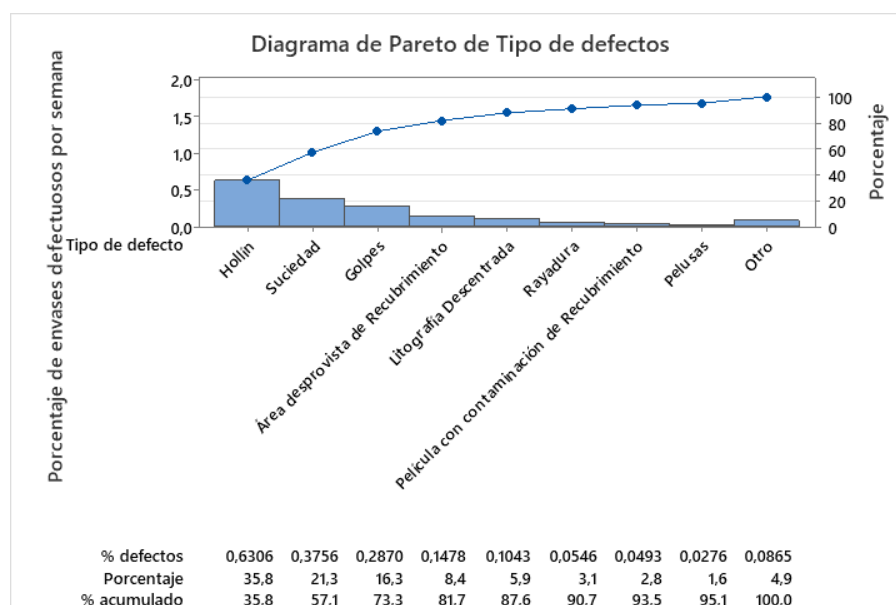
En la Figura 12 se observa el resultado de este análisis, el cual arrojó un valor p de 0,000 ( $p < 0,05$ ). Dado que el valor obtenido es menor al nivel de significancia, se rechazó la hipótesis nula, que asumía que todas las medianas del porcentaje de defectos entre los formatos eran iguales, lo que implica que existen diferencias significativas en la incidencia de defectos según el formato.

### 2.2.2.2.3 Estratificación por tipos de defectos

Se analizaron los datos recolectados en el periodo de análisis y se elaboró un diagrama de Pareto con el fin de identificar los defectos que más contribuyen a la variabilidad del proceso.

**Figura 13**

Diagrama de Pareto de tipos de defectos



*Nota.* Datos recolectados desde septiembre 2024 a septiembre 2025

La Figura 14 evidenció que los cuatro defectos principales hollín, suciedad, golpes y áreas provistas de barniz representaron en conjunto más del 80% de los efectos registrados, lo que confirmó que estos defectos concentraron la mayor parte del impacto en la calidad del producto.

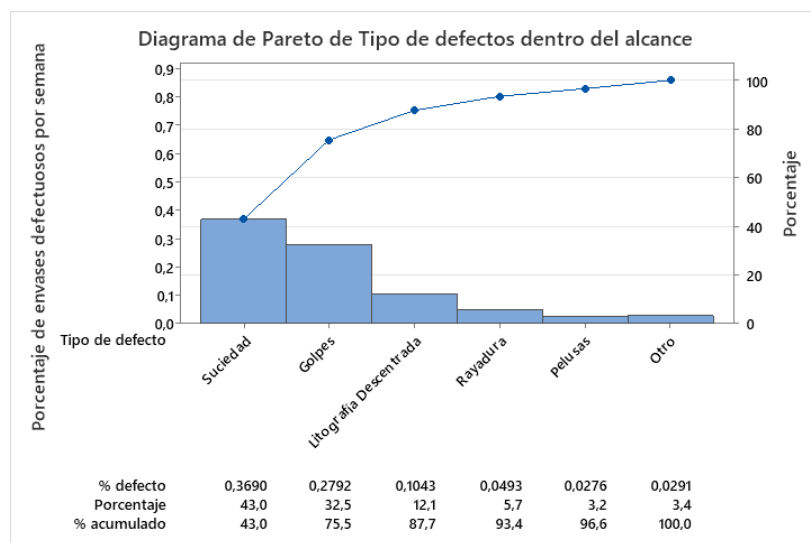
Sin embargo, varios de los defectos identificados en el Diagrama de Pareto se encontraron fuera del alcance operativo del área analizada. Por este motivo, el análisis se centró exclusivamente en los defectos que sí se generaron dentro de la línea analizada y sobre los que fue posible intervenir: suciedad, golpes, rayaduras, litografía descentrada y presencia de pelusas. Estos defectos están directamente relacionados con las actividades operativas del área, tales como la alimentación de láminas, el manejo y el ajuste de los equipos, por lo que fueron considerados relevantes para el análisis posterior.

### 2.2.2.3 Problema enfocado

Una vez realizado el análisis estadístico, la estratificación por lámina, por formato y la elaboración del diagrama de Pareto del proceso, se determinó que los defectos más críticos correspondieron a aquellos que se generaron dentro del área analizada. Si bien se evidenció que el tipo de formato presentó diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de defectos, los Diagramas de Pareto elaborados para cada estratificación mostraron un comportamiento consistente. En todos los casos, los defectos de suciedad y golpes se mantuvieron como los más relevantes, independientemente del tipo de lámina o del formato del envase.

**Figura 14**

*Diagrama de Pareto de tipos de defectos dentro del alcance*



Por esta razón, y dado que ambos defectos representaban más del 70% del total de efectos tal como se muestra en la Figura 15, el problema se enfocó en el análisis y la reducción de los defectos de suciedad y golpes, ya que constituyeron el principal aporte a la variabilidad del proceso y fueron los únicos plenamente controlables por el área de embutido.

## **2.3 Analizar**

En la etapa de análisis, el objetivo principal fue identificar las causas raíz de los problemas previamente definidos, específicamente los defectos de suciedad y golpes. Para ello, se aplicó un conjunto de herramientas analíticas que permitieron evaluar el proceso desde diversos enfoques, entre ellas: lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa, matriz causa-efecto, matriz impacto-control, plan de verificación de causas y la metodología de los 5 *Porqués*. Este trabajo se desarrolló en conjunto con el Key Customer (Coordinador de Mejora Continua), Supervisor de Producción, Especialista de Procesos, Inspector de Calidad, y los operadores de la línea, quienes aportaron su conocimiento técnico y experiencia operativa para garantizar que el análisis reflejara de manera fiel la realidad del proceso.

### **2.3.1 Resultados del análisis para el defecto de suciedad**

#### **2.3.1.1 Lluvia de ideas**

Se llevó a cabo una sesión de lluvia de ideas, una técnica que permite recopilar de manera libre múltiples posibles causas, soluciones o aspectos relacionados al problema planteado. En colaboración con los actores principales del proceso, se identificaron un total de 20 posibles causas.

**Figura 15**

*Lluvia de ideas para defecto: suciedad*

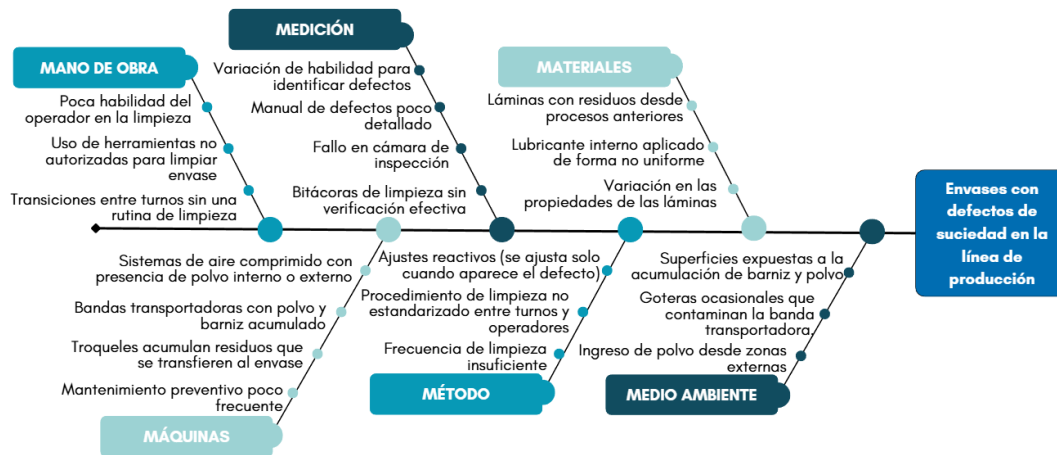
Operadores con poca habilidad de limpieza	Se acumula polvo en banda transportadora	Se acumula barniz en la banda transportadora	Se usa toalla para limpiar la banda transportadora
Diferencias entre operadores para limpiar	Las goteras ensucian la banda transportadora	Ingresa polvo externo	No limpian los envases correctamente
Poca frecuencia de limpieza	Manguera de aire está sucia	Uso de otros materiales para limpiar envases	No hay tiempo para la limpieza
No se verifica el cumplimiento de limpieza	Se acumula el barniz desprendido	No se clasifican bien los defectos	Algunos herramientas generan suciedad
Láminas provienen con residuos	Se acumula barniz en los troqueles y carrileras	Hay goteras que suelen ensuciar los envases	No se realiza limpieza en el cambio de turno
Los niveles de lubricante pueden variar	La suciedad puede depender del tipo de material	No hay limpieza estandarizada entre turnos	No se tiene conocimiento de un procedimiento de limpieza

### 2.3.1.2 Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa se utilizó como una herramienta visual para identificar, organizar y analizar de manera estructurada las posibles causas asociadas al problema específico, con el fin de apoyar la identificación de la causa raíz y la toma de decisiones. Como insumo para su elaboración, se utilizó la información obtenida durante la sesión de lluvia de ideas, cuyos resultados se presentan en la Figura 16. A partir de esta información, las causas fueron clasificadas en las categorías de material, método, medición, maquinaria, mano de obra y entorno, dando lugar al diagrama mostrado en la Figura 17.

Figura 16

Diagrama de Ishikawa para defecto: suciedad



### 2.3.1.3 Matriz causa-efecto

La matriz causa-efecto se utilizó como una herramienta de análisis para evaluar y priorizar la relación entre las causas potenciales del proceso y sus efectos sobre las variables críticas asociadas a los defectos. Para ello, se asignaron ponderaciones a cada causa considerando la percepción y el criterio de los actores involucrados en el proceso. El resultado de este análisis se presenta en la Figura 18.

Figura 17

Matriz causa-efecto para defecto: suciedad

N°	Causa	Key Customer	Inspector de Calidad	Producción	Mejora continua	Operador	Total
<b>Materiales</b>							
1	Láminas con residuos desde procesos anteriores	9	9	9	9	1	37
2	Lubricante interno aplicado de forma no uniforme	9	1	9	3	9	31
3	Variación en la calidad superficial de la lámina	0	1	9	3	1	14
<b>Medio ambiente</b>							
4	Superficies expuestas a la acumulación de barniz y polvo	9	0	9	1	0	19
5	Goteras ocasionales que contaminan la banda transportadora.	3	1	1	1	9	15
6	Ingreso de polvo desde zonas externas	1	1	1	1	0	4
<b>Medición</b>							
7	Manual de defectos poco detallado	0	0	0	1	9	10
8	Inconsistencia en aplicación de criterios de clasificación	3	1	1	9	9	23
<b>Método</b>							
9	Ajustes reactivos, solo se ajusta cuando aparece el defecto	9	9	3	3	9	33
10	Procedimiento de limpieza no estandarizado entre turnos y operadores	3	1	0	3	3	10
11	Frecuencia de limpieza insuficiente	3	3	1	1	9	17
<b>Mano de obra</b>							
12	Poca habilidad del operador en la limpieza	3	1	0	1	9	14
13	Uso de herramientas no autorizadas para limpiar envase	3	0	0	0	9	12
14	Transiciones entre turnos sin una rutina de limpieza.	3	1	0	3	9	16
<b>Máquinas</b>							
15	Sistemas de aire comprimido con presencia de polvo interno o externo	9	3	0	0	0	12
16	Bandas transportadoras con polvo y barniz acumulado	9	3	3	3	9	27
17	Fallo en cámara de inspección	9	9	3	1	9	31

Escala	Relación
0	No hay relación
1	Relación débil
3	Relación moderada
9	Relación fuerte

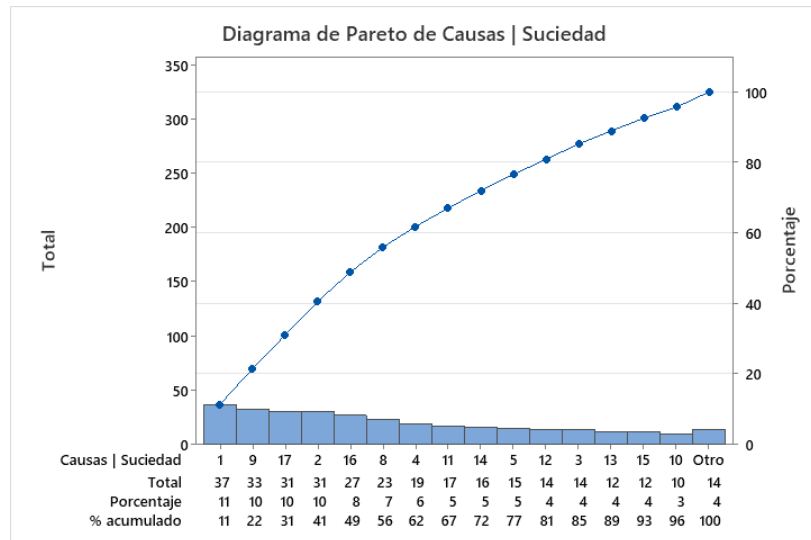
### 2.3.1.4 Diagrama de Pareto

Con el fin de identificar las causas que generan el mayor impacto en la ocurrencia de defectos, se elaboró un diagrama de Pareto, cuyos resultados se muestran en la Figura 19.

Aplicando la regla del 80/20, se determinó que 13 causas explican el 81% del efecto observado, convirtiéndolas en las principales candidatas para continuar con el análisis y la verificación.

**Figura 18**

*Diagrama de Pareto para defecto: suciedad*

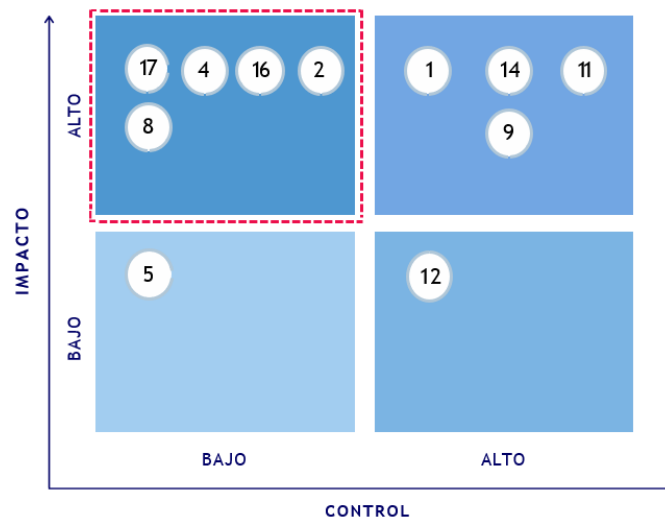


### 2.3.1.5 Matriz impacto-control

Se construyó una Matriz Impacto–Control, con el objetivo de priorizar las causas en función de su impacto en el problema y el nivel de control que se puede ejercer sobre ellas. Según se aprecia en la Figura 20, se decidió concentrar los esfuerzos en las causas situadas en el cuadrante de alto impacto y bajo control, al considerarse que estas representan las mayores oportunidades de mejora y requieren acciones más estratégicas para su mitigación.

**Figura 19**

*Matriz impacto-control para defecto: suciedad*



En donde se priorizaron las siguientes causas:

- 2- Lubricante interno aplicado de forma no uniforme.
- 4- Superficies expuesta a la acumulación de barniz y polvo.
- 8- Inconsistencia en aplicación de criterios de clasificación.
- 16- Bandas transportadoras con polvo y barniz acumulado
- 17- Fallo en cámara de inspección.

### 2.3.1.6 Plan de verificación de causas

Finalmente, se elaboró un Plan de Verificación de Causas con el objetivo de validar, mediante evidencia objetiva, si las causas priorizadas realmente influyen de manera significativa en la generación de defectos. Este plan permitió asegurar que las acciones de mejora se enfoquen en los factores críticos del proceso y se presenta de forma detallada en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Plan de verificación de causas para defecto: suciedad*

N°	Causas potenciales	Impacto X → Y	¿Cómo se revisa?	¿Quién verifica?	¿Dónde se verifica?
2	Lubricante interno aplicado de forma no uniforme	La aplicación irregular del lubricante hace que el polvo y las pequeñas partículas se adhieran fácilmente a los envases, incrementando la cantidad de unidades defectuosas.	<b>Gemba:</b> observación directa de la aplicación del lubricante. <b>Entrevistas</b> a operadores sobre los procedimientos de aplicación.	Galo Centeno y Maryam Mora	Línea de producción
4	Superficies expuestas a la acumulación de barniz y polvo	Cuando las superficies de equipos acumulan barniz y polvo, estos contaminantes se transfieren directamente a los envases, generando defectos de suciedad que incrementan el porcentaje de producto no conforme de manera continua	<b>Gemba:</b> inspección visual diaria de los equipos críticos para evaluar nivel de acumulación. <b>Toma de datos:</b> registro de frecuencia y momentos de limpieza.	Galo Centeno y Maryam Mora	Línea de producción
8	Inconsistencia en aplicación de criterios de clasificación	Cuando se clasifican los defectos y existe una confusión entre defectos similares, se genera una inflación artificial del porcentaje de defectos atribuidos incorrectamente a la línea de producción	<b>Estudio Repetibilidad y Reproducibilidad:</b> evaluación del sistema de medición con operadores, inspectores de calidad y supervisor en condiciones controladas.	Galo Centeno y Maryam Mora	Línea de producción, Área de Calidad
16	Bandas transportadoras con polvo y barniz acumulado	Los residuos acumulados en la banda transportadora se transfieren directamente a los envases durante la manipulación, dando como resultado una mayor frecuencia de piezas que requieren reproceso o son rechazadas.	<b>Gemba:</b> inspección visual del estado de las bandas transportadoras durante la operación. <b>Toma de datos:</b> registro de eventos de limpieza.	Galo Centeno y Maryam Mora	Línea de producción
17	Fallo en cámara de inspección	Cuando la cámara de inspección no detecta pequeñas áreas contaminadas, los envases sucios atraviesan el proceso sin ser identificados, aumentando la proporción de envases defectuosos que llegan a las operaciones posteriores.	<b>Gemba:</b> observación del funcionamiento de la cámara durante operación normal. <b>Toma de datos:</b> registro de eventos de falla, tiempos de retención.	Galo Centeno y Maryam Mora	Línea de producción

### 2.3.1.6.1 Causa 2: Lubricante interno aplicado de forma no uniforme

Para evaluar esta causa, se realizó una revisión directa del sistema de lubricación interna utilizado en la línea de embutado. Durante el Gemba, se observó que el sistema de lubricación dispensa lubricante cada dos láminas, pero continúa goteando incluso cuando la línea se detenía, lo que generaba acumulación de lubricante en los rodillos y contaminación en los envases. El sistema de lubricación se muestra en la Figura 21.

#### Figura 20

*Sistema de lubricación y depósito de lubricante*



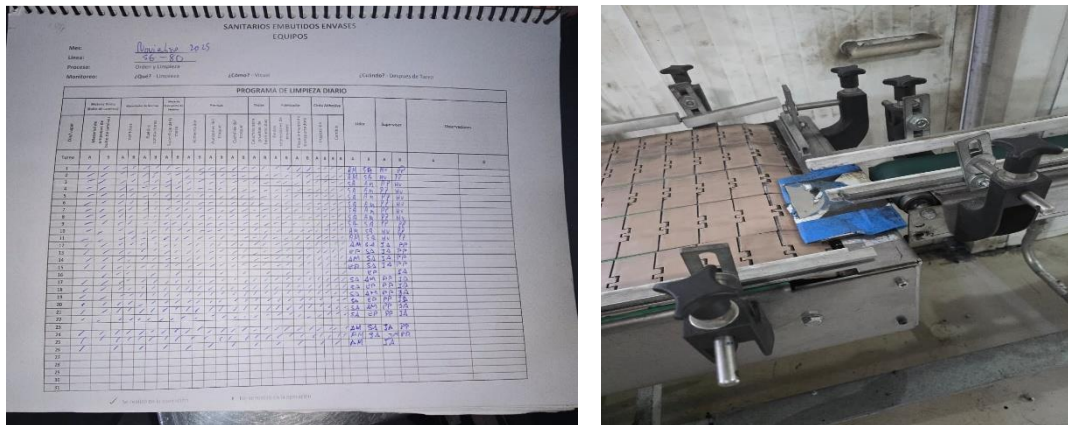
Adicionalmente, durante el Gemba se evidenció la ausencia de controles automáticos, alarmas e indicadores del nivel de lubricante. Los operadores confirmaron la existencia de variaciones en la cantidad aplicada, principalmente durante paros del proceso o cuando el depósito se vacía sin ser detectado oportunamente. Asimismo, a lo largo de 14 días de observación, se registraron dos jornadas en las que fue necesario realizar ajustes o detener la operación debido a problemas en la lubricación de los envases, lo que generó tiempos muertos equivalentes a 13 116 envases no procesados.

### 2.3.1.6.2 Causa 4: Superficies expuestas a la acumulación de barniz y polvo

Para verificar esta causa, se revisó la bitácora de limpieza diaria, semanal y mensual correspondiente a la línea, así como las zonas físicas donde debía ejecutarse el plan de limpieza. Al contrastar los registros documentados con el estado real de la línea, se identificaron discrepancias entre las actividades reportadas y las condiciones observadas en campo. Esta comparación se presenta en la Figura 22.

**Figura 21**

*Bitácora de limpieza de la línea vs línea actual*



Durante las visitas de verificación, se evidenció la acumulación de barniz, polvo y partículas en zonas críticas del proceso, a pesar de que en la bitácora de limpieza dichas actividades constaban como “realizadas”. Asimismo, no se identificaron mecanismos de control que permitieran validar la ejecución efectiva de las tareas registradas. Como resultado del seguimiento realizado durante 11 días de observación, se constató que un total de 29 250 envases fueron afectados por este factor de suciedad.

### 2.3.1.6.3 Causa 8: Inconsistencia en la aplicación de criterios de evaluación.

Se identificó como posible causa la incorrecta identificación de los distintos tipos de defecto por parte del personal involucrado en el proceso. Esta situación podría generar errores durante la operación y afectar la calidad del producto final. Con el fin de evaluar la consistencia y confiabilidad del criterio de identificación utilizado por los operadores, se llevó a cabo una prueba de Repetibilidad y Reproducibilidad, orientada a determinar el grado de variabilidad atribuible al sistema de evaluación empleado. La ejecución de esta prueba, aplicada sobre envases con defectos controlados, se ilustra en la Figura 23.

**Figura 22**

*Prueba de repetibilidad y reproducibilidad*



Los resultados del estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad evidenciaron que, bajo condiciones controladas, el personal fue capaz de identificar correctamente los defectos en los envases. Sin embargo, durante la operación diaria, caracterizada por altos volúmenes de producción, se observó una inconsistencia en la clasificación, lo que sugiere que factores operativos y de carga de trabajo influyen en el desempeño del sistema de evaluación.

#### 2.3.1.6.4 Causa 16: Bandas transportadoras con polvo y barniz acumulado

Se inspeccionaron las bandas transportadoras involucradas en el desplazamiento de láminas y envases a lo largo del proceso productivo. Durante esta revisión, se identificó la acumulación de polvo, pelusas, barniz adherido y grietas visibles, evidenciándose además el uso inapropiado de solventes y la ausencia de limpiezas profundas.

#### Figura 23

*Envase con disolvente para limpiar las bandas*



Durante el periodo de observación, se evidenció la presencia de un contenedor con disolvente ubicado sin estandarización en una de las esquinas del área, el cual era utilizado por los operadores para la limpieza de las bandas transportadoras, condición que se muestra en la Figura 24. Los operadores indicaron que el mantenimiento de estos elementos se realizaba de manera esporádica debido a limitaciones de tiempo. Como consecuencia, la acumulación de partículas y el desgaste de las bandas facilitaron la transferencia de suciedad hacia los envases. Asimismo, durante un periodo de 14 días de observación, se registró un evento en el que se retuvieron 12 586 envases como consecuencia de esta condición.

### **2.3.1.6.5 Causa 17: Fallo en cámara de inspección**

Se realizó una revisión del funcionamiento del sistema de la cámara de inspección y se confirmó que la cámara opera bajo parámetros internos preconfigurados para la detección de imperfecciones específicas. No obstante, el sistema carece de alarmas que alerten sobre posibles desconfiguraciones. Durante una semana de análisis, se registró una falla significativa que generó reprocesos y la retención de dos pallets equivalentes a 12 586 envases.

### 2.3.1.7 Análisis: 5 por qué

Para el defecto de Suciedad, se aplicó la herramienta 5W (Cinco Veces ¿Por qué?) presentada en la Tabla 5 con el fin de profundizar en las razones que originan el problema y así identificar la causa raíz.

**Tabla 5**

*5 por qué para defecto: suciedad*

Causa	¿Por qué? (1)	¿Por qué? (2)	¿Por qué? (3)
Superficies expuestas a la acumulación de barniz y polvo	Porque existe acumulación de polvo y residuos en componentes de la línea.	<b>Porque el plan operativo actual prioriza mantener la línea operativa y la limpieza se realiza en paradas mayores.</b>	
Lubricante interno aplicado de forma no uniforme	Porque la lámina llega al troquel con exceso de lubricante.	Porque el caudal y la posición del rodillo aplicador no mantiene estandarización ni marcas definidas.	<b>Porque el ajuste de la cantidad de lubricante en el rodillo aplicador depende únicamente del conocimiento tácito del operador.</b>
Fallo en cámara de inspección	Porque los defectos no se detectan consistentemente durante la producción.	Porque la cámara de inspección experimenta fallos intermitentes.	<b>Porque las acciones de mantenimiento se activan solo después de que se detecten fallas.</b>
Bandas transportadoras con polvo y barniz acumulado	Porque la banda transportadora arrastra polvo o residuos que están en contacto con los envases.	<b>Porque los residuos permanecen durante la operación.</b>	
Inconsistencia en aplicación de criterios de clasificación	Porque los inspectores no aplican los criterios correctamente durante operación normal	Porque hay fatiga y falta de motivación para clasificar con precisión en alto volumen	<b>Porque el volumen de inspección es muy alto y no hay consecuencias por clasificar mal</b>

Asimismo, se presentaron las causas potenciales identificadas, junto con sus respectivas causa raíz y las propuestas de solución planteadas, las cuales se detallaron en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Propuestas de solución para defecto: suciedad*

Causa	Causa Raíz	Propuesta de mejora
Superficies expuestas a la acumulación de barniz y polvo	Porque el plan operativo actual prioriza mantener la línea operativa y la limpieza se realiza en paradas mayores.	Estandarización de una rutina de limpieza durante paros programados disponibles (inicio de turno y cambios de formato).
Lubricante interno aplicado de forma no uniforme	Porque el ajuste de la cantidad de lubricante en el rodillo aplicador depende únicamente del conocimiento tácito del operador.	Desarrollo un procedimiento estandarizado para la aplicación del lubricante interno considerando la vida útil del rodillo.
Fallo en cámara de inspección	Porque las acciones de mantenimiento se activan solo después de que se detecten fallas.	Implementación de mantenimiento preventivo, y creación de indicadores de confiabilidad de la cámara de inspección.
Bandas transportadoras con polvo y barniz acumulado	Porque los residuos permanecen durante la operación.	Implementación de rondas de supervisión estructuradas con checklist de verificación e indicador de cumplimiento.
Inconsistencia en aplicación de criterios de clasificación	Porque el volumen de inspección es muy alto y no hay consecuencias por clasificar mal	Implementación de auditorías aleatorias, y creación de indicador de precisión vinculado a la evaluación de desempeño.

## 2.3.2 Resultados del análisis para el defecto de golpes

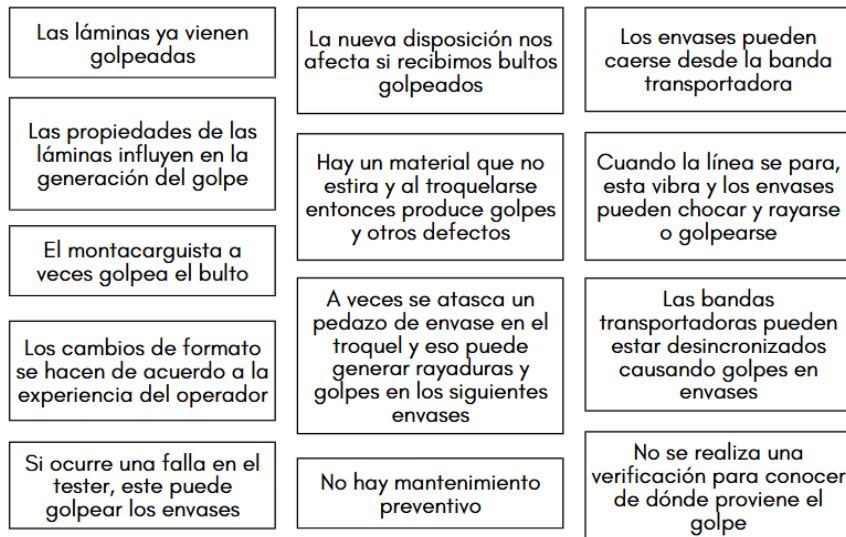
### 2.3.2.1 Lluvia de ideas

Para el defecto de golpes, se siguió un procedimiento similar al utilizado para el defecto de suciedad. Inicialmente, se llevó a cabo una sesión de lluvia de ideas con los actores clave del proceso, con el objetivo de recopilar posibles causas del problema. Como

resultado, se identificaron 16 causas potenciales relacionadas con la generación de golpes en los envases, las cuales se presentan en la Figura 25.

**Figura 24**

*Lluvia de ideas para defecto: golpes*

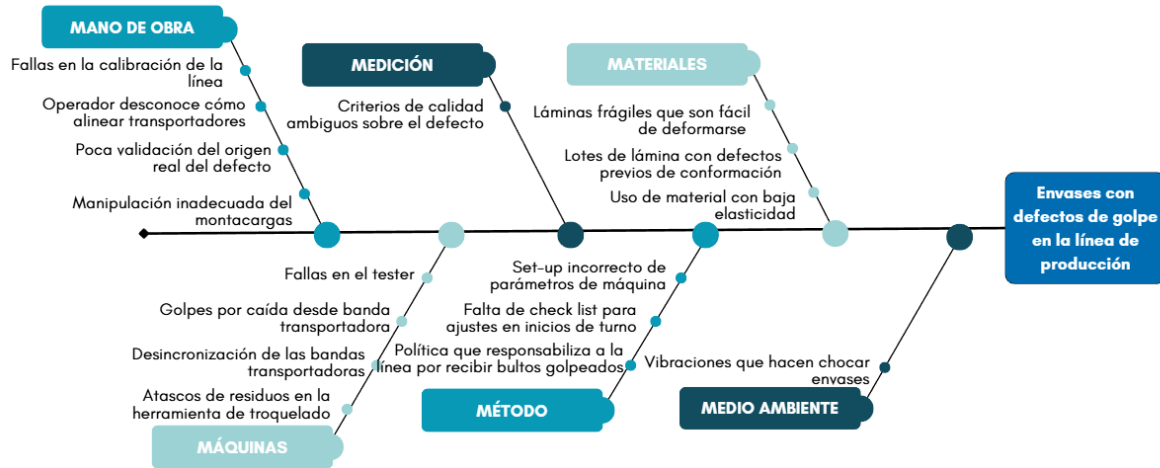


### 2.3.2.2 Diagrama de Ishikawa

Posteriormente, estas causas fueron organizadas según las categorías del diagrama de Ishikawa, como se muestra en la Figura 26, lo que permitió visualizar de manera estructurada las áreas de influencia y facilitó la identificación de factores críticos que podrían contribuir a la generación del defecto.

Figura 25

Diagrama de Ishikawa para defecto: golpes



### 2.3.2.3 Matriz causa-efecto

Para evaluar la relevancia de cada causa identificada, los actores clave realizaron un análisis mediante la matriz causa-efecto, asignando ponderaciones en función del impacto percibido sobre el defecto y su relación directa con el proceso. Este análisis permitió una evaluación estructurada y comparativa de las causas potenciales. Los resultados obtenidos, presentados en la Figura 27, facilitaron la priorización objetiva de aquellas causas con mayor influencia en la generación del defecto.

**Figura 26**

*Matriz causa-efecto para defecto: golpes*

N°	Causa	Key Customer	Inspector de Calidad	Supervisor de Producción	Analista de Mejora Continua	Operador	Total
<b>Materiales</b>							
1	Láminas frágiles que son fácil de deformarse	9	9	9	9	1	37
2	Ingreso de láminas con defectos/golpes previos a conformación	3	3	9	9	9	33
3	Uso de material con baja elasticidad	0	9	0	9	9	27
<b>Medio ambiente</b>							
4	Vibraciones que hacen chocar envases	9	3	0	1	0	13
<b>Medición</b>							
5	Criterios de calidad ambiguos sobre el defecto	3	1	3	3	0	10
<b>Método</b>							
6	Set-up incorrecto de parámetros de máquina	1	0	3	1	0	5
7	Falta de check list para ajustes/pruebas en inicios de turno/cambios	3	3	3	3	0	12
8	Política que responsabiliza a la línea por recibir bultos golpeados	1	9	1	3	9	23
<b>Mano de obra</b>							
9	Operador desconoce cómo alinear transportadores	9	0	1	1	0	11
10	Poca validación del origen real del defecto	1	3	3	3	9	19
11	Manejo inadecuado del montacargas	3	1	9	9	3	25
<b>Máquinas</b>							
12	Fallos en el tester	3	3	9	1	1	17
13	Caida de envases desde área de paletizado	9	1	9	0	3	22
14	Desincronización de las bandas transportadoras	9	1	9	3	3	25
15	Desgaste de la herramienta de troquelado	1	3	9	3	9	25

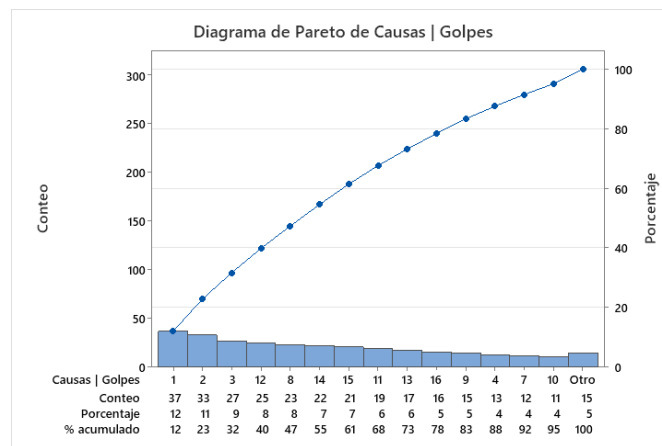
Escala	Relación
0	No hay relación
1	Relación débil
3	Relación moderada
9	Relación fuerte

**2.3.2.4 Diagrama de Pareto**

A partir de la información obtenida en la matriz causa – efecto, se elaboró un diagrama de Pareto, con el fin de identificar las causas más relevantes según el criterio conjunto del equipo, siguiendo el principio del 80/20. El diagrama elaborado se presenta en la Figura 28.

**Figura 27**

*Diagrama de Pareto para defecto: golpes*



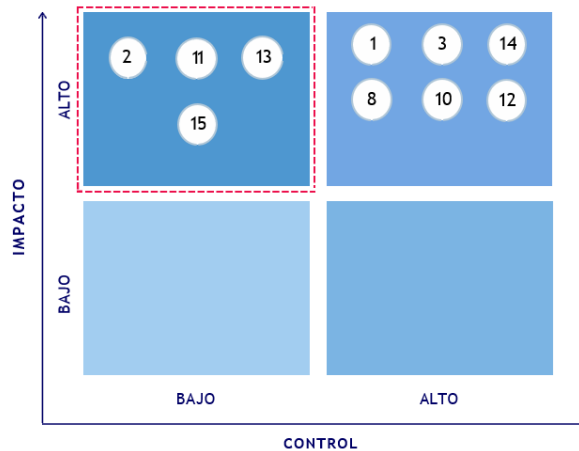
Como resultado de este análisis, se determinó que 11 causas explican el 83% del efecto observado, por lo que fueron consideradas como las principales candidatas para continuar con el análisis detallado y la etapa de verificación.

### 2.3.2.5 Matriz impacto-control

Posteriormente, mediante la matriz impacto-control, se priorizaron las causas que presentaron un alto impacto sobre el defecto y un bajo nivel de control dentro del proceso. El resultado de esta evaluación se muestra en la Figura 29, a partir de la cual se identificaron 4 causas críticas:

**Figura 28**

*Matriz impacto-control para defecto: golpes*



2- Ingreso de láminas con defectos/golpes previos a conformación.

11- Manejo inadecuado del montacargas.

13- Caída de envases desde área de paletizado

15- Desgaste de la herramienta de troquelado

### 2.3.2.6 Plan de verificación de causas

Con base en las causas críticas priorizadas, se elaboró un Plan de Verificación de Causas, orientado a validar con evidencia objetiva si las causas priorizadas influyen de manera significativa en la generación de defectos. Este plan permitió estructurar las actividades de observación, medición y registro necesarias para confirmar cada causa, y se presenta de manera detallada en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Plan de verificación de causas para defecto: golpes*

Nº	Causas potenciales	Impacto X → Y	¿Cómo se revisa?	¿Quién verifica?	¿Dónde se verifica?
2	Ingreso de láminas defectuosas/golpeadas	El ingreso de láminas con defectos físicos desde áreas anteriores genera envases defectuosos desde el inicio del proceso, aumentando el porcentaje de defectos, aunque la causa sea externa	Gemba: inspección física de bultos de láminas en alimentador. Toma de datos: registro de eventos de retención de bultos por defectos	Galo Centeno y Maryam Mora	Línea de producción
11	Manejo inadecuado del montacargas	Los problemas durante el movimiento de materiales pueden provocar colisiones no intencionales, contribuyendo a un mayor porcentaje de envases golpeados	Gemba: observación de rutas y espacios de maniobra. Toma de datos: registro de incidentes de golpe a bultos de láminas	Galo Centeno y Maryam Mora	Área de transporte
13	Caída de envases desde área de paletizado	La caída de los envases desde cierta altura genera envases que pueden estar dentro de especificaciones, pero presentan golpes visibles, incrementando directamente el porcentaje de defectos reportados	Gemba: observación del proceso de paletizado y manipulación de envases. Toma de datos: registro de frecuencia de caídas	Galo Centeno y Maryam Mora	Área de paletizado
15	Desgaste de la herramienta de troquelado	El desgaste progresivo de la herramienta de troquelado genera defectos de golpe por mal corte o atascamiento de residuos, produciendo envases defectuosos de manera intermitente hasta su detección	Gemba: observación del proceso de troquelado. Toma de datos: registro de frecuencia de eventos de desgaste	Galo Centeno y Maryam Mora	Línea de producción

### 2.3.2.6.1 Causa 2: Ingreso de láminas defectuosas

Durante el periodo de observación de 14 días, se identificaron bultos de láminas con daños por golpe previos a su ingreso a la línea de producción, los cuales no fueron detectados oportunamente debido a la dificultad para su identificación visual en la recepción. La evidencia de esta condición se muestra en la Figura 30.

Como resultado, se retuvieron dos bultos completos al momento de la detección, lo que implicó la afectación de 90 720 envases.

#### Figura 29

*Bultos de láminas golpeadas*



### 2.3.2.6.2 Causa 12: Manipulación inadecuada del montacargas

Durante 11 visitas realizadas a planta, se observó en tres ocasiones la acumulación de pallets que restringía la maniobrabilidad del montacargas. Esta condición dificultó la operación normal del equipo y aumenta el riesgo de colisiones con envases o estructuras del área. Adicionalmente, durante el periodo de observación se registró un evento en el cual 11 340 envases fueron retenidos debido a daños por golpe asociados a esta condición.

### 2.3.2.6.3 Causa 13: Caída de envases dese área de paletizado

Durante un periodo de observación de 14 días, se registró la caída recurrente de envases desde el área de paletizado, con una frecuencia aproximada de al menos tres envases por hora. Como consecuencia de estos incidentes, se contabilizó un total de 1 008 envases afectados durante el periodo analizado. La caída de los envases se presentó principalmente durante el desplazamiento sobre las carrileras y en la etapa de apilamiento en los palets.

### 2.3.2.6.4 Causa 15: Desgaste de la herramienta de troquelado

En el periodo de observación de 14 días, se identificó el desgaste progresivo de la herramienta asociado a su uso continuo. Si bien se realizaron ajustes y calibraciones para mantener su funcionamiento, no se evidenció la ejecución de un mantenimiento preventivo con la frecuencia requerida. Esta situación se ilustra en la Figura 33, donde se observa al operador realizando ajustes de carácter reactivo. La condición fue detectada oportunamente, lo que permitió limitar el impacto del evento, registrándose una afectación aproximada de 1 800 unidades.

#### Figura 30

*Operador realizando ajustes reactivos en el troquel*



### 2.3.2.7 Análisis: 5 por qué

Finalmente, con el objetivo de profundizar en la identificación de la causa raíz asociada a los defectos por golpes, se realizó un análisis de los 5 Por qué sobre las causas críticas priorizadas. El desarrollo de este análisis y sus resultados se presentan en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*5 por qué para defecto: golpes*

Causa	¿Por qué? (1)	¿Por qué? (2)	¿Por qué? (3)
Ingreso de láminas defectuosas/golpeadas al proceso de conformación	Porque se procesan láminas con defectos visibles.	Porque los operadores no siempre comunican las anomalías al departamento de calidad.	<b>Porque los operadores deciden cómo proceder en función de su experiencia.</b>
Manejo inadecuado del montacargas	Porque los impactos ocurren durante el transporte de los envases.	Porque el montacarguista no mantiene la distancia de maniobra adecuada.	<b>Porque persisten prácticas inseguras en el manejo del montacargas durante la operación.</b>
Caída de envases desde área de paletizado	Porque los envases se caen del área de paletizado.	<b>Porque la forma de posicionar depende del criterio personal de cada operador.</b>	
Desgaste en la herramienta de troquelado	Porque alcanzó el límite de su vida útil.	<b>Porque no se cambió preventivamente antes de fallar.</b>	

Además, se presentaron las causas potenciales identificadas, junto con sus respectivas causa raíz y las propuestas de solución planteadas, las cuales se detallaron en la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Propuestas de solución para defecto: golpes*

Causa	Causa Raíz	Propuestas de Mejora
Ingreso de láminas defectuosas/golpeadas al proceso de conformación	Porque los operadores deciden cómo proceder en función de su experiencia.	Implementación de un mecanismo de fortalecimiento del proceso de avisos ante anomalías en láminas
Manejo inadecuado del montacargas	Porque persisten prácticas inseguras en el manejo del montacargas durante la operación.	Implementación de capacitaciones recurrentes para el manejo seguro de montacargas
Caída de envases desde área de paletizado	Porque la forma de posicionar depende del criterio personal de cada operador.	Desarrollo de un método estándar para el posicionamiento correcto de envases en el paletizados
Desgaste en la herramienta de troquelado	Porque no se cambió preventivamente antes de fallar.	Implementación de un plan de mantenimiento preventivo que defina el cambio de herramientas según ciclos

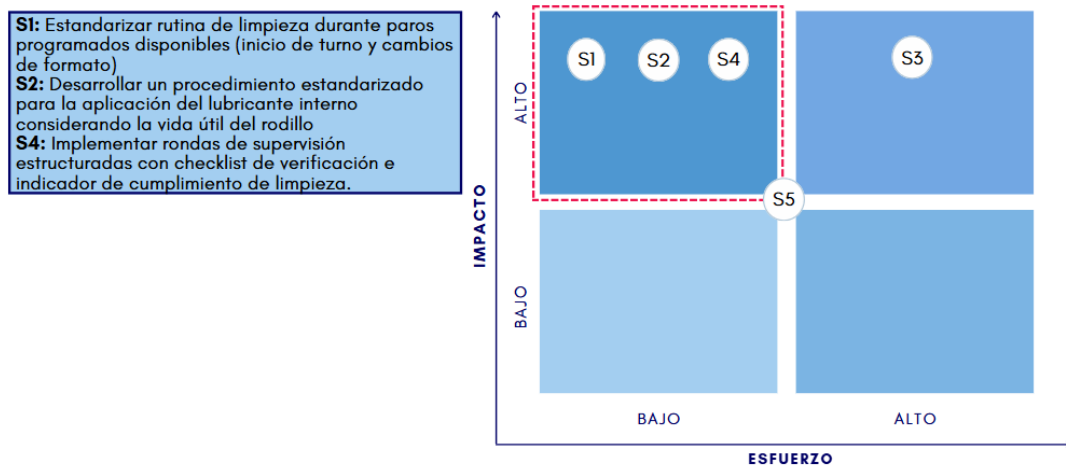
## 2.4 Mejorar

### 2.4.1 Implementación de las soluciones para defecto de suciedad

Se elaboró una matriz de impacto-esfuerzo con el propósito de evaluar las soluciones propuestas para su implementación en el proyecto. Esta herramienta permitió identificar de manera sistemática cuáles acciones representaban un mayor beneficio potencial para el proceso frente al nivel de esfuerzo requerido para ejecutarlas. En la Figura 33, se observa que se priorizaron las soluciones con mayor impacto y bajo esfuerzo para asegurar un impacto significativo en la reducción de envases defectuosos.

**Figura 31**

*Matriz impacto-esfuerzo de las soluciones para defecto: suciedad*



Para abordar las oportunidades de mejora identificadas en el proceso, se plantearon tres soluciones principales orientadas a reducir la generación de envases defectuosos y fortalecer el control operativo. En primer lugar, se implementó la estandarización de la rutina de limpieza durante los paros programados, ya que, aunque si bien existía una bitácora de limpieza, se evidenció que no se llenaba de manera consistente debido a la falta de organización y a limitaciones de tiempo, lo que impedía contar con registros confiables de las actividades ejecutadas. En segundo lugar, se optimizó el mantenimiento y la lubricación del rodillo aplicador, dado que se observó que este solo se cambia o lubrica cuando presenta un desgaste evidente, lo que puede afectar la generación de envases defectuosos debido a la sobrelubricación o al uso prolongado sin mantenimiento. Finalmente, se implementaron rondas de supervisión estructuradas, dado que, aunque existía un programa de supervisión, este no se aplicaba de manera rigurosa ni sistemática, limitando la efectividad de la verificación de las actividades críticas y del cumplimiento de los procedimientos establecidos.

### 2.4.1.1 Estandarización de una rutina de limpieza durante paros programados disponibles

Inicialmente, se identificaron las actividades de limpieza necesarias por estación de trabajo y se definieron criterios de evaluación según su nivel de criticidad, utilizando un sistema visual tipo semáforo (rojo, amarillo, verde). Esto permitió estandarizar la evaluación del estado de limpieza, asegurando una comprensión común entre operadores, supervisores e inspectores de calidad, y facilitó la identificación de estaciones que requieren atención inmediata.

#### Figura 32

*Implementación de cartilla visual con el operador*



Para apoyar esta evaluación, se diseñaron herramientas visuales, como las pizarras de priorización de limpieza por cada estación, que guían a los operadores a la ejecución de la limpieza de los componentes críticos durante los paros programados, como se muestra en la Figura 33.

Adicionalmente, se implementaron kits de limpieza operativos por estación, conformados por insumos específicos y con ubicaciones definidas, con el fin de evitar improvisaciones y asegurar una limpieza eficiente y segura. Todas las actividades fueron documentadas en un procedimiento de limpieza que define claramente el alcance, las zonas a intervenir, y la priorización de las áreas según el nivel de suciedad, enfocándose en limpiar únicamente lo necesario para optimizar los tiempos disponibles. La primera página de este procedimiento se presenta en el **Apéndice A**, por motivos de confidencialidad. La efectividad de estos cambios se evidencia en la Figura 34 y Figura 35, donde se muestra el antes y el después de la implementación de las herramientas específicas.

### Figura 33

*Antes y después de la implementación del kit de limpieza*



**Figura 34**

*Antes y después de la implementación del hisopo de espuma*



No obstante, a partir de la implementación del procedimiento surgió la necesidad de contar con mecanismos que permitan verificar su correcta ejecución a lo largo del tiempo. En respuesta a esta problemática, se definieron indicadores de cumplimiento orientados a monitorear la aplicación del procedimiento de limpieza y asegurar su ejecución conforme a lo establecido. Los indicadores definidos, junto con sus metas, se presentan en la Figura 38.

**Figura 35**

*Indicadores de cumplimiento de limpieza*

<p><b>Porcentaje de cumplimiento de limpieza</b></p> $\% \text{cumplimiento} = \frac{\text{limpiezas realizadas}}{\text{paros programados totales}} \times 100$	<b>Meta : &gt; 90%</b>
<p><b>Reducción del % de defectos por suciedad</b></p> <p><i>Total de envases retenidos por suciedad</i></p>	<b>Meta : Reduccion de 50%</b>
<p><b>Disponibilidad de insumos en kits de limpieza</b></p> $\% \text{disponibilidad} = \frac{\text{inspecciones con kit completo}}{\text{total inspecciones de kit}} \times 100$	<b>Meta : 100%</b>

#### **2.4.1.2 Desarrollo un procedimiento estandarizado para la aplicación de lubricante interno considerando la vida útil del rodillo.**

Con la finalidad de desarrollar un procedimiento para la aplicación de lubricante interno, se delimitó el alcance del análisis, centrandolo exclusivamente en el estado y ciclo de vida del rodillo aplicador. Para ello, se desarrolló una plantilla estandarizada destinada al registro de información durante la operación, la cual permite documentar de manera consistente los bultos de lámina procesados diariamente y los ajustes realizados por los operadores.

Aunque inicialmente se planteó registrar la frecuencia de lubricación, esta medición no se ejecutó de manera consistente durante el periodo analizado, debido a que no se realizó el cambio del rodillo aplicador ni se contaba con información histórica suficiente sobre la frecuencia de lubricación. En este contexto, el desarrollo completo del procedimiento no pudo ser implementado, quedando esta solución en una fase de preparación técnica.

No obstante, se proyectó incluir la frecuencia de lubricación en la bitácora de datos, de modo que, una vez reemplazado el rodillo, los operadores puedan anotar los intervalos de lubricación. La versión actualizada de esta bitácora se presenta en la Figura 37.

**Figura 36***Bitácora de datos actualizada*

Fecha				Turno:	Lubricación:
Operadores					
Orden #	SKU			Código de lámina	
Formato					

Bulto	Láminas recibidas	Láminas consumidas	Pallets buenos	Planchas buenas (cámara)	Pallets malos	Planchas malas (cámara)	Pallets retenidos	Motivo de retención	Saldo

Comentarios:

Adicionalmente, como parte de la estructuración del procedimiento, se definieron indicadores orientados a evaluar la correcta aplicación del lubricante y el cumplimiento de los criterios establecidos. Estos indicadores fueron planteados como herramientas de control para una etapa posterior de la implementación y se presentan en la Figura 38.

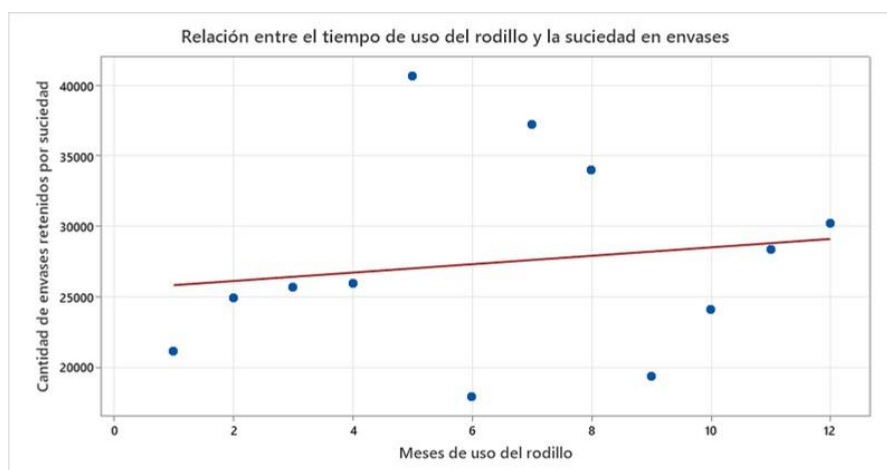
**Figura 37***Indicadores de la aplicación del lubricante***Porcentaje de envases retenidos por suciedad***% de envases retenidos por suciedad**Meta : disminucion del 50%***Cumplimiento del procedimiento***%cumplimiento de frecuencia de lubricacion*

Paralelamente, se realizó un análisis de tendencia en función del tiempo transcurrido desde el último cambio de rodillo, observándose un comportamiento creciente en la variabilidad del proceso a medida que el rodillo avanzaba su ciclo de vida, lo que evidencia

una pérdida progresiva de estabilidad operativa. Si bien no se determinó una relación lineal fuerte, se observó una mayor dispersión de los datos a partir del quinto y sexto mes de uso. En el periodo posterior a los seis meses, la variabilidad y los valores registrados fueron más elevados, lo que indica un proceso significativamente menos estable con el tiempo, tal como se observa en la Figura 39.

**Figura 38**

*Evolución de envases retenidos desde el último cambio de rodillo*



### 2.4.1.3 Implementación de rondas de supervisión estructuradas con checklist de verificación e indicador de cumplimiento de limpieza

Se definieron las estaciones de trabajo y los elementos críticos a supervisar en cada una, priorizando superficies visibles, herramientas críticas y zonas con mayor probabilidad de acumulación de suciedad. Esta selección permitió concentrar la supervisión en puntos clave del proceso, evitando inspecciones extensas y poco efectivas. Para organizar las revisiones, se estructuraron bloques rotativos que distribuyen las inspecciones de manera equilibrada, evitando sobrecargar al supervisor.

Paralelamente, se establecieron criterios de evaluación y acciones asociadas para diferenciar condiciones aceptables de hallazgos críticos que requieren intervención inmediata. Con base en estos criterios, se implementó un checklist digital de supervisión, que estandariza el registro de las inspecciones, asegura la trazabilidad de la información y facilita el análisis posterior de los datos recopilados. La estructura del checklist utilizado se presenta en la Tabla 10.

**Tabla 10**

*Estructura general del checklist de supervisión aplicado*

Ítems	Respuestas
Turno Inspeccionado	Turno A, Turno B
Supervisor responsable	-
Bloque inspeccionado	A: Superficies visibles B: Herramientas críticas C: Orden, kits y soporte
Estación a inspeccionar	-
Tipo de respuesta	Sí cumple/No cumple
Acción tomada	Retroalimentación, corrección, seguimiento

Adicionalmente, como se observa en la Figura 40, se estableció un indicador de cumplimiento de las rondas de supervisión, con el objetivo de medir de forma periódica el nivel de adherencia al estándar definido. Para asegurar una correcta aplicación del sistema, se capacitó a los supervisores en el uso del checklist, los criterios de evaluación y la interpretación del indicador.

**Figura 39**

*Indicador de cumplimiento de limpieza por parte del supervisor*

Se genera un KPI semanal:

$$\%cumplimiento = \frac{\text{items cumplidos}}{\text{items totales}} \times 100$$

Interpretación:

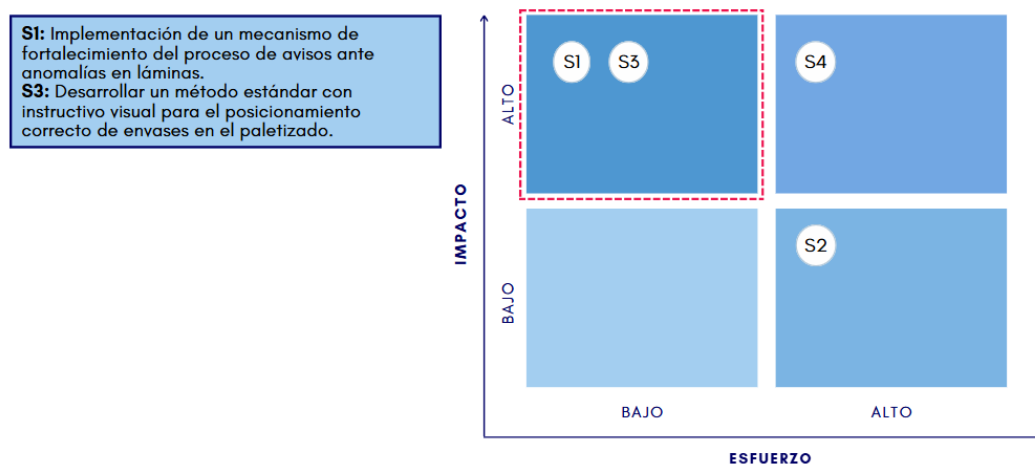
- **>95%**: estándar alcanzado
- **85-95%**: requiere acciones
- **<85%**: desviación crítica

## 2.4.2 Implementación de soluciones para el defecto de golpes.

Con el objetivo de priorizar las alternativas de mejora asociadas al defecto golpes, se elaboró una matriz de Impacto-Esfuerzo, herramienta que permitió evaluar cada solución propuesta en función de su contribución esperada a la reducción del defecto y del nivel de recursos requeridos para su implementación. Esta evaluación facilitó la selección de acciones con alto impacto en el proceso y bajo esfuerzo operativo (véase Figura 41).

**Figura 40**

*Matriz de impacto-esfuerzo de las soluciones para defecto: golpes*



Entre las soluciones priorizadas por su alto impacto y bajo esfuerzo se encontró el fortalecimiento del proceso de avisos ante anomalías de láminas. Si bien la organización contaba con un procedimiento formal de notificación hacia el área de calidad, se evidenció que su aplicación no era consistente, ya que algunos operadores procesaban las láminas con golpes leves bajo criterios individuales o retrasaban la comunicación de la anomalía. Esta falta de estandarización generaba variabilidad en la respuesta ante defectos. La implementación de esta solución buscó estandarizar la notificación inmediata de cualquier anomalía, asegurando una acción rápida y uniforme.

Asimismo, se priorizó el desarrollo de un método estándar para el posicionamiento de los envases en el paletizador. Durante el análisis se identificó que la caída de envases estaba asociada, en parte, a diferencias en la forma de colocación de envases entre los operadores, quienes ajustaban el posicionamiento según su experiencia o nivel de atención. Estas variaciones introducían inestabilidad en el proceso y aumentaban la probabilidad de golpes en los envases. El desarrollo de un procedimiento claro y uniforme permitió reducir la variabilidad, disminuir la ocurrencia de caídas y contribuir a una mayor estabilidad del proceso productivo.

#### **2.4.2.1 Implementación de un mecanismo de fortalecimiento del proceso de avisos ante anomalías en láminas**

El primer paso consistió en identificar los posibles daños que pueden presentarse en los bultos durante su recepción, tales como láminas golpeadas, bordes o filos dañados, esquinas dobladas, film roto, zunchos sueltos, ondulaciones o hundimientos. A partir de esta identificación, se realizó una capacitación dirigida a los operadores, motivándolos a notificar de manera inmediata al área de calidad cualquier anomalía detectada. Esta práctica tuvo como

objetivo promover un aprendizaje continuo, ya que el área de calidad registró cada aviso recibido, analizó la situación reportada y documentó la acción correctiva correspondiente. Con base en esta información, se desarrolló un procedimiento estandarizado que define de manera clara los pasos que debe seguir el operador ante cada tipo de falla detectada durante la recepción de bultos, garantizando una respuesta uniforme y efectiva ante anomalías.

El procedimiento elaborado se muestra en el **Apéndice B**, donde, por motivos de confidencialidad, se muestra únicamente la primera página del documento.

#### **2.4.2.2 Desarrollar un método estándar para el posicionamiento de envases.**

Inicialmente, se identificaron los puntos críticos del proceso de paletizado, entre los cuales se incluyeron la ocupación de las cuatro esquinas del pallet con envases, la alineación uniforme de los envases por capa y la correcta colocación del separador entre capas. Con base en esta identificación, se definió un método estándar de posicionamiento que estableció criterios obligatorios, tales como la ocupación permanente de las esquinas, la correcta cobertura del separador y la alineación adecuada de los envases, eliminando interpretaciones individuales o prácticas variables.

Una vez definido el método, se procedió a la documentación del procedimiento estándar, formalizando los pasos operativos, los criterios de aceptación y el manejo de desviaciones. La primera página de este procedimiento se presenta en el **Apéndice C**, por motivos de confidencialidad. Adicionalmente se midió el cumplimiento y el impacto mediante un indicador de desempeño presentado en la Figura 42.

**Figura 41**

*Indicador para posicionamiento de pallets.*

$$\text{Porcentaje de pallets correctamente armados}$$

$$\%Pallets\ conformes = \frac{\text{pallets sin desviaciones}}{\text{pallets inspeccionados}} \times 100$$

$$\text{Meta :} > 90\%$$

**2.4.3 Capacitaciones**

Para todas las implementaciones realizadas, se llevaron a cabo capacitaciones dirigidas al personal de la línea, con el objetivo de garantizar una comprensión integral de los objetivos de las acciones propuestas y del fundamento de cada solución implementada. Durante estas sesiones, se explicó la importancia de seguir los procedimientos establecidos, los criterios de aceptación y las buenas prácticas asociadas, destacando cómo la participación activa del personal influye directamente en la eficacia de las mejoras y en la reducción de defectos. Además, se promovió el aprendizaje continuo mediante la resolución de dudas y ejemplos prácticos, asegurando que los operadores adquirieran la confianza y los conocimientos necesarios para aplicar correctamente los nuevos métodos en su trabajo diario.

**2.5 Plan de control para las propuestas de solución**

Con el objetivo de garantizar que las soluciones implementadas mantengan su efectividad en el tiempo y que el proceso se permanezca bajo condiciones estables y controladas, se diseñó un plan de control. Este plan define los indicadores clave a monitorear, la frecuencia de medición, los responsables de seguimiento y los criterios de aceptación asociados a cada acción implementada.

De esta manera, el plan de control permitió asegurar la continuidad de las mejoras alcanzadas, facilitó la detección oportuna de desviaciones y estableció mecanismos de retroalimentación orientados a la toma de decisiones y a la implementación de ajustes futuros. Los planes de control desarrollados para las soluciones asociadas a los defectos de suciedad y golpes se presentan en el **Apéndice D**, donde se muestra una tabla única que integra los criterios de seguimiento de cada solución implementada.

Para el caso del procedimiento de aplicación de lubricante interno del rodillo, dado que la solución no fue implementada durante el periodo de análisis debido a la falta de información asociada al cambio de rodillo y a la frecuencia de lubricación, el plan de control fue planteado como una propuesta para su futura aplicación, una vez que se cuente con las condiciones operativas necesarias.

## Capítulo 3

### 3. Resultados y análisis

#### 3.1 Resultados de los indicadores de soluciones para el defecto de suciedad.

Para evaluar la efectividad de las soluciones implementadas frente al defecto de suciedad, se analizar los indicadores definidos en la etapa Mejora. La meta establecida para el indicador Porcentaje de cumplimiento de limpieza, fue superior al 90 %, de acuerdo con el estándar definido para el procedimiento implementado. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 16.

**Tabla 11**

*Datos del porcentaje del cumplimiento de limpieza*

Paros programados	Limpieza registrada	Total semanal
4	2	50%
5	3	60%
4	4	100%
6	4	67%
6	4	67%
4	1	25%
4	2	50%
Promedio		59,8%

A pesar de que la meta establecida superaba el 90%, el valor alcanzado durante el periodo de análisis después de la implementación fue del 59%. Este resultado no se estuvo asociado a la falta de ejecución de las actividades de limpieza, sino a la ausencia de registro sistemático en la bitácora correspondiente. Durante el seguimiento se evidenció que las tareas de limpieza sí se realizaban; sin embargo, la omisión en su documentación limitó el control y la trazabilidad del proceso, impactando directamente en el desempeño del indicador. En este contexto, se identificó la necesidad de reforzar la disciplina en el registro de las actividades como parte integral del procedimiento implementado.

Adicionalmente, se evaluó el indicador de Reducción del porcentaje de defectos por suciedad, comparando los resultados obtenidos posterior a la implementación de las mejoras con el comportamiento histórico del proceso. Los resultados de esta comparación se presentan en la Tabla 17.

**Tabla 12**

*Porcentaje de defectos por suciedad comparado con el histórico*

Periodo	Eventos/semana	Promedio envases/evento	Total Semanal	Histórico
Histórico	5	3,17	18,069	
Semana -1	9	1,479	13,312	-26%
Semana 0	8	1,16	9,277	-49%
Semana +1	10	1,071	10,707	-41%

Los resultados muestran una tendencia decreciente en el porcentaje de defectos asociados a suciedad, lo que indica que la solución implementada fue aplicada y generó un impacto positivo en la calidad de los envases. No obstante, el objetivo de reducción del 50% no fue alcanzado completamente, lográndose un valor cercano al 49%. Este comportamiento sugiere la posible influencia de factores adicionales que no fueron completamente abordados durante la implementación de las acciones de mejora.

Por otra parte, se analizó el indicador Disponibilidad del kit de limpieza, cuyos resultados se presentan en la Tabla 18.

**Tabla 13**

*Disponibilidad del kit de limpieza*

Insumos	% Disponibilidad
4	100%
4	100%
4	100%
4	100%
4	100%
4	100%
3	75%

Durante el periodo de análisis de resultados, se verificó que en la mayoría de los casos, la disponibilidad de los insumos requeridos fue del 100%; sin embargo, se identificó una jornada en la que no se contó con hisopos de espuma, lo cual podría afectar la correcta limpieza de determinadas zonas del envase y, potencialmente, incidir en la calidad del proceso, evidenciando la necesidad de un seguimiento continuo al abastecimiento de los kits.

Cabe señalar que los indicadores asociados a la solución del desarrollo de un procedimiento de aplicación de lubricante interno no pudieron ser evaluados durante el periodo de análisis, dado que su medición quedó sujeta posteriormente a la adquisición e implementación del nuevo rodillo aplicador en la línea.

### **3.2 Resultados de los indicadores de soluciones para el defecto de golpes**

Para el análisis de los resultados asociados a golpes, la evaluación se centró en la cantidad de envases que se cayeron durante el proceso productivo, considerando este evento como el principal generador del defecto. Los resultados obtenidos posterior a la implementación de las mejoras se presentan en la Tabla 19.

**Tabla 14**

*Envases caídos después de la implementación de mejoras para golpes.*

Fecha	Envases caídos durante el día	Mejora
5/1/2026	63	↑5%
6/1/2026	71	↑18%
7/1/2026	48	↓20%
8/1/2026	49	↓18%
9/1/2026	52	↓13%
10/1/2026	33	↓45%

Se observó que, al inicio del periodo de análisis, se registró un incremento en el porcentaje de envases afectados de acuerdo con la meta planteada, donde se establecía un promedio de 60 envases caídos al día. No obstante, en los días posteriores se evidenció una disminución progresiva de estos eventos, lo que indica una mejora en la estabilidad de los envases y su permanencia adecuada en las posiciones asignadas, reduciendo la ocurrencia de caídas durante el proceso.

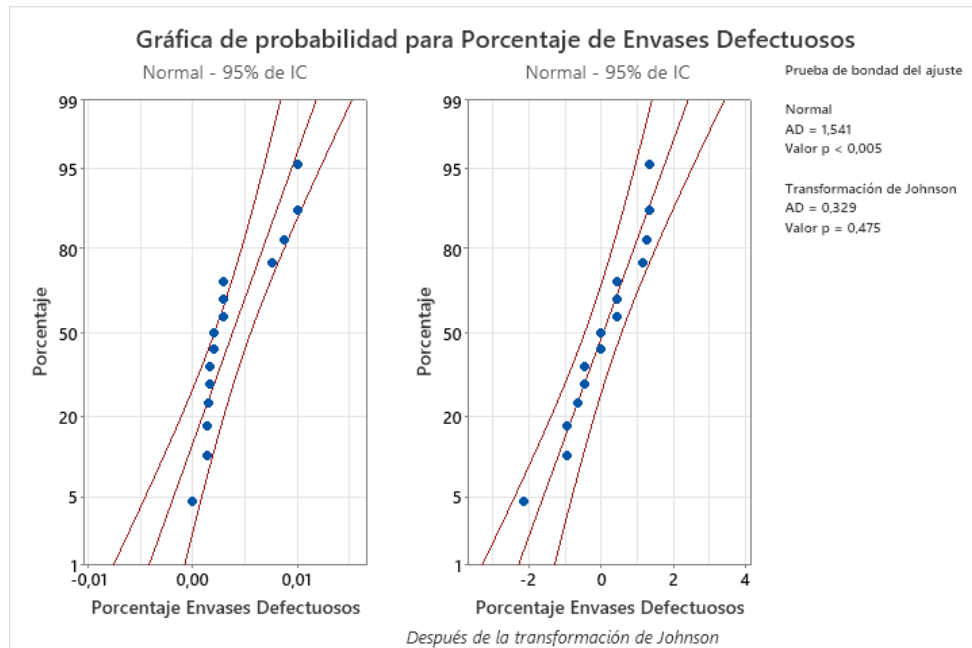
### **3.3 Resultados generales**

Una vez recopilada la información y verificada la correcta implementación de las mejoras, se procedió a realizar la toma de datos correspondiente a los envases defectuosos generados en la línea de producción, con el fin de efectuar su análisis estadístico. Previo a dicho análisis, se realizó una prueba de normalidad para validar los supuestos requeridos.

La Figura 43 presenta la prueba normalidad aplicada a los datos obtenidos posterior a la implementación de mejoras.

**Figura 42**

*Prueba de normalidad después de la implementación de mejoras*



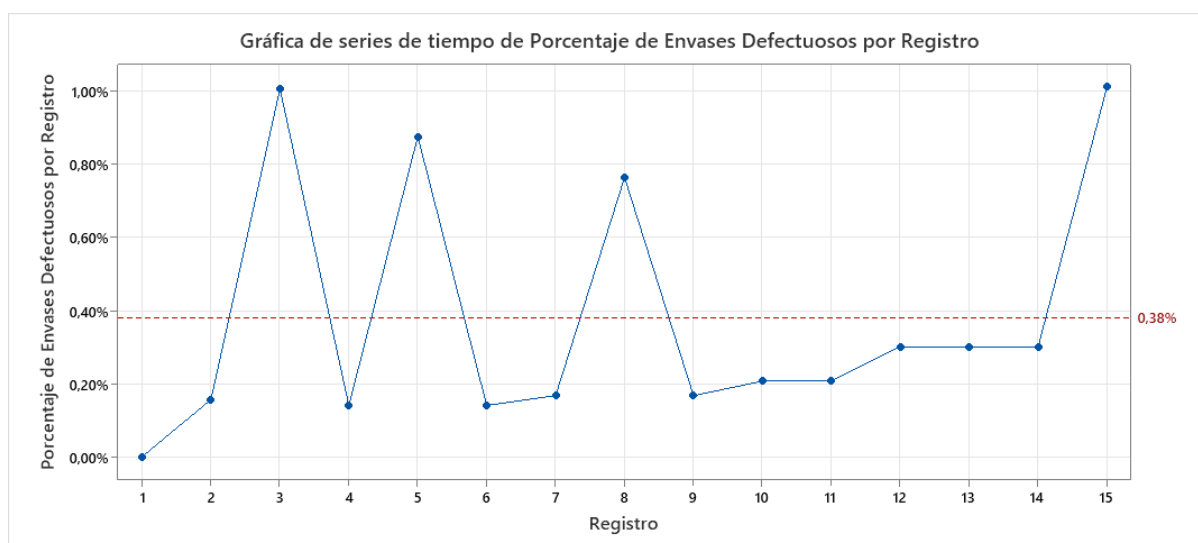
La gráfica de probabilidad para el porcentaje de envases defectuosos evidenció que los datos originales no siguen una distribución normal, resultado que fue confirmado mediante la prueba de Anderson-Darling (valor  $p < 0,005$ ). Posteriormente, se aplicó una transformación de Johnson, logrando un mejor ajuste a la normalidad, con un valor  $p$  de 0,475. Estos resultados indican que la transformación permitió corregir la asimetría y variabilidad de los datos, validando el uso de análisis estadísticos que asumen normalidad.

Con el objetivo de evaluar el impacto de las mejoras implementadas sobre el porcentaje de envases defectuosos por registro, se analizó inicialmente la serie de tiempo histórica del proceso, a partir de la cual se estableció como línea base un promedio de 0,98%, valor que sirvió como referencia para la definición del objetivo de reducción del GAP en un 50%, equivalente a un valor meta de 0,49%.

Posteriormente, se elaboró la serie de tiempo correspondiente al periodo posterior a la implementación de las mejoras, la cual se presenta en la Figura 44. En dicha figura se observa que los valores registrados se mantienen por debajo de la línea base histórica y el valor objetivo establecido, alcanzando un promedio de 0,38%.

**Figura 43**

*Serie de tiempo post-implementación*



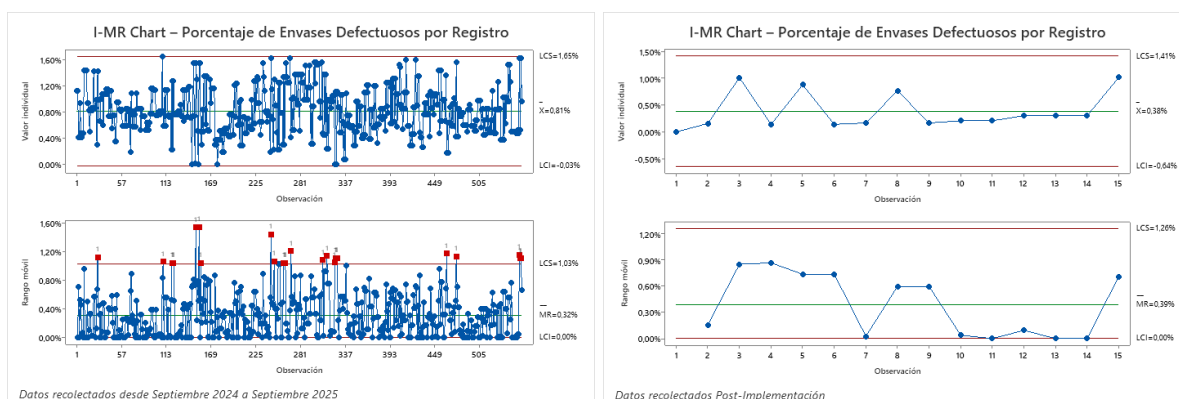
Estos resultados evidencian una reducción del promedio del porcentaje de envases defectuosos por registro de 0,98% a 0,38%, lo que representa una disminución del GAP del 61%, superando el objetivo inicialmente planteado. Este comportamiento indica que las soluciones implementadas fueron efectivas para reducir la generación de envases defectuosos y mejorar el desempeño global del proceso.

Con el objetivo de evaluar el impacto de las mejoras en la variabilidad del proceso, se realizó un análisis comparativo mediante gráficos de valores individuales y rangos móviles (IM-R) correspondientes a las condiciones previa y posterior a la implementación. Los resultados de esta comparación se presentan en la Figura 45, donde se evidencia una

reducción tanto en la dispersión de los valores individuales como en la variabilidad del rango móvil.

**Figura 44**

*Gráfico IM-R del porcentaje de envases defectuosos antes y después*



Con la finalidad de resumir los resultados de manera más clara y facilitar su interpretación, se presenta en la Tabla 20 un consolidado de los valores obtenidos posterior a la implementación de las mejoras, permitiendo visualizar de forma directa el impacto generado en el proceso.

**Tabla 15**

*Resumen de resultados del porcentaje de defectos*

	Antes	Después	Mejora
Máximo	3,77%	1,011%	↓ 73%
Promedio	0,98%	0.38%	↓ 61%
Mínimo	0%	0%	-
Rango de variación	3,77%	1,011%	↓ 0.73%

Posterior a la implementación de las mejoras, el valor máximo del porcentaje de defectos se redujo de 3,77% a aproximadamente 1%, lo que representa una disminución del

73%. Asimismo, los valores mínimos se mantuvieron en 0%, lo que indica una reducción del rango de variación del proceso en una magnitud similar. Adicionalmente, el valor promedio del porcentaje de defectos disminuyó de 0,98% a 0,38%, lo que equivale a una mejora del 61%.

Ante la necesidad de determinar si la mejora observada es estadísticamente significativa, se realizó una prueba de confiabilidad, cuyos resultados se presentan en la Figura 46.

#### Figura 45

*Prueba de confiabilidad de la mejora del porcentaje de defectos.*

#### Prueba de Kruskal-Wallis: Porcentaje de defectos vs. Etapa

##### Estadísticas descriptivas

línea	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Histórico	558	0,0077870	291,6	4,06
Implementación	15	0,0020681	115,7	-4,06
General	573		287,0	

##### Prueba

Hipótesis nula H<sub>0</sub>: Todas las medianas son iguales  
 Hipótesis alterna H<sub>1</sub>: Al menos una mediana es diferente

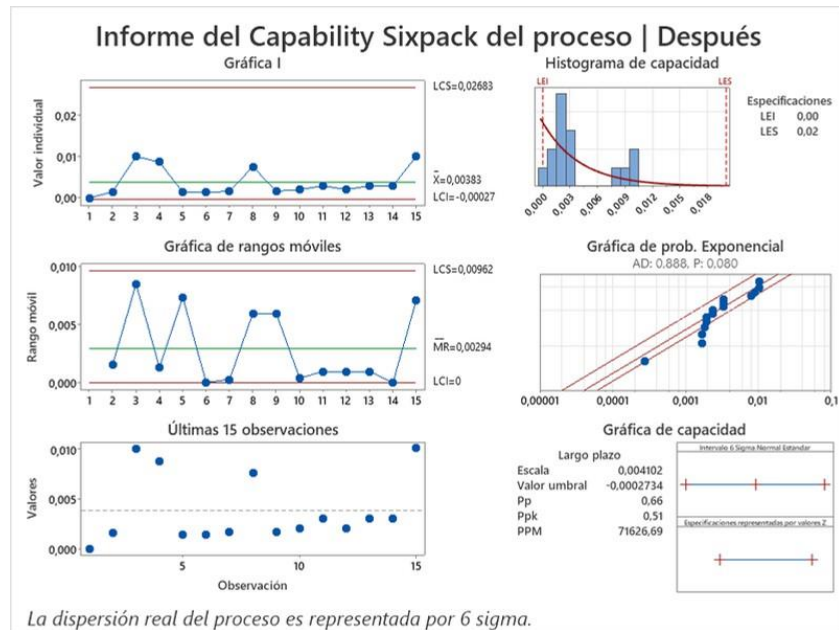
Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	1	16,48	0,000
Ajustado para empates	1	16,48	0,000

En la prueba estadística realizada, el valor p obtenido fue inferior a 0,05, lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre las condiciones previa y posterior a la implementación de las mejoras, confirmando que la variación observada está asociada de manera significativa a las acciones de mejora aplicadas en el proceso.

Adicionalmente, con el fin de identificar el estado actual del proceso en relación con el porcentaje de envases defectuosos, se realizó un análisis de capacidad que permite evaluar el desempeño del proceso respecto a los límites establecidos. La Figura 47 presenta los resultados obtenidos posterior a la implementación.

Figura 46

Análisis de capacidad del proceso después de las mejoras



Previo al análisis de capacidad, se verificaron los siguientes supuestos: estabilidad del proceso, independencia de los datos, ajuste de la distribución estadística. Las gráficas de valores individuales y rangos móviles no mostraron puntos fuera de control, confirmando la estabilidad del proceso. Asimismo, la distribución de los datos presentó un ajuste adecuado al modelo utilizado (valor  $p > 0,05$ ) para un modelo de probabilidad exponencial, validando la aplicación del análisis de capacidad. No obstante, los índices de capacidad obtenidos ( $Pp = 0,66$  y  $Ppk = 0,51$ ) indican que el proceso aún no alcanza un nivel de desempeño consistente. Cabe mencionar que esto no se debe a incumplimiento de las especificaciones, sino a que se dispone de pocos datos recolectados hasta el momento, por lo que se requiere dar seguimiento y ampliar la recolección para una evaluación más robusta del desempeño del proceso.

Finalmente, se evaluó el impacto de las mejoras implementadas bajo el enfoque de la Triple Línea de Beneficio, cuyos resultados se presentan en la Tabla 21.

**Tabla 16**

*Resultados de la triple línea de beneficio antes y después de las mejoras*

	Económico	Social	Ambiental
Antes	USD 2 350	3,3 carga laboral percibida	9,3 KW
Después	USD 1 700	2,52 carga laboral percibida	2,7 KW

En el pilar económico, se evidenció una reducción de costos asociados a envases defectuosos, pasando de USD 2 350 a USD 1 700, lo que representa una disminución de USD 650 semanales. En cuanto al pilar social, la carga laboral percibida disminuyó de 3,3 a 2,52 en la escala de evaluación, indicando una mejora en la percepción del esfuerzo y las condiciones de trabajo por parte de los actores involucrados en el proceso. Con respecto al pilar ambiental, el consumo energético asociado a la generación de envases defectuosos se redujo de 9,3 kW a 2,7 kW, evidenciando una reducción del impacto ambiental del proceso productivo.

## **Capítulo 4**

## 4. Conclusiones y recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

Tras la aplicación de las fases definidas en la metodología propuesta y el análisis de los resultados obtenidos, se presentan a continuación las conclusiones principales del proyecto:

- Se logró reducir el promedio del porcentaje de envases defectuosos de 0,98% a 0,38%, superando la meta establecida de 0,49 %. Esta reducción del 61% evidencia que las soluciones implementadas permitieron mejorar el desempeño del proceso productivo y aumentar la proporción de envases conformes.
- La aplicación de la metodología DMAIC permitió estructurar de manera sistemática el análisis del proceso productivo, facilitando la identificación de los principales factores, mediante herramientas de identificación y evaluación, que contribuyen a la generación de defectos en los envases metálicos, entre los que se destacan problemas asociados a suciedad y golpes.
- A partir de las causas raíz identificadas, se implementaron acciones de mejora enfocadas en la reducción del porcentaje de envases defectuosos y en el fortalecimiento de la eficiencia operativa mediante la implementación de procedimientos y soluciones, lo que se reflejó una mejora en el desempeño general del proceso.
- El análisis estadístico posterior a la implementación confirmó que la mejora obtenida es estadísticamente significativa, respaldada por una prueba de hipótesis con un valor

p inferior a 0,05, lo que demuestra que la reducción del porcentaje de defectos es atribuible a las acciones aplicadas y se mantiene dentro del valor objetivo establecido.

- El análisis de variabilidad y estabilidad del proceso evidenció una disminución en la dispersión de los datos y un comportamiento más estable posterior a la implementación de las mejoras. Como resultado se disminuyó el rango de variación de 3,77% a 1,01%, confirmando un mayor nivel de control del proceso en comparación con la condición inicial.
- El análisis de capacidad del proceso mostró que, si bien el proceso se encuentra bajo control estadístico tras la implementación de las mejoras, los índices obtenidos ( $Pp = 0,66$  y  $Ppk = 0,51$ ) indican que aún existe oportunidad de mejora, principalmente asociada a la reducción de la variabilidad para cumplir de manera consistente con las especificaciones establecidas.
- En el ámbito económico, se evidenció una reducción de los costos asociados a envases defectuosos, pasando de USD 2 350 a USD 1 700, lo que representa un ahorro aproximado de USD 650 y refleja una mayor eficiencia del proceso productivo.
- En el ámbito social, la carga laboral percibida disminuyó de 3,3 a 2,52 en la escala de evaluación, lo que indica una mejora en la percepción del esfuerzo operativo y en las condiciones de trabajo del personal involucrado.
- En el ámbito ambiental, el consumo energético asociado a la generación de envases defectuosos se redujo de 9,3 kW a 2,7 kW, evidenciando una disminución en el uso de energía para reprocesos y una mejora en el desempeño ambiental del proceso.

## 4.2 Recomendaciones

- Mantener el seguimiento estadístico del proceso, utilizando indicadores semanales y cartas de control, con el fin de asegurar la estabilidad del porcentaje de envases defectuosos y detectar oportunamente posibles desviaciones que comprometan el desempeño del proceso.
- Analizar periódicamente las variaciones semanales del porcentaje de defectos, considerando variables operativas como el tipo de lámina, el formato del envase y la carga de trabajo, para sustentar la toma de decisiones basadas en datos objetivos.
- Realizar investigaciones complementarias para determinar y priorizar defectos no abordados en el presente proyecto, con énfasis en el hollín, debido a que las delimitaciones del proyecto limitaron su análisis. Esto permitiría cuantificar su incidencia, identificar causas raíz y evaluar su impacto sobre la calidad del producto, los costos y la eficiencia del proceso.
- Desarrollar una fase posterior del proyecto que incorpore simulación de escenarios, permitiendo evaluar el comportamiento del proceso ante cambios en la demanda, variaciones en materia prima o modificaciones en la capacidad instalada.

## Referencias

- Gonzalez, J. D. (2014). *Introducción a la Ingeniería Industrial*. México: Alpha Editorial.
- Kareem, J. A., Mohammed, B. I., & Abdulwahab, S. A. (2022). *Optimal Materials Handling Equipment and Defective Product Reduction Skills in Enhance Overall Production Efficiency*. SAGE Open.
- Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca. (2024). *Estudio de mercado ATÚN EN CONSERVA en Estados Unidos*. Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca.
- Oliveira, R. (2021). *5 Porqués: Herramienta de Análisis y Solución de Problemas (Spanish Edition)*. Independently Published.
- Pulido, H. G., & Salazar, R. d. (2013). *Control estadístico de la calidad y seis sigma*. México: The McGraw-Hill Companies.
- Pyzdek, T., & Keller, P. A. (2023). *The Six Sigma Handbook, Sixth Edition: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels*. McGraw Hill LLC.
- Saeger, A. d., & Feys, B. (2016). *El diagrama de Ishikawa Solucionar los problemas desde su raíz*. 50Minutos.
- The Council for Six Sigma Certification. (2018). *Six Sigma Green Belt Certification Training Manual June 2018 Edition*. Estados Unidos: The Council for Six Sigma Certification.
- Tokgoz, E. (2024). *Six Sigma and Quality Concepts for Industrial Engineers*. Estados Unidos: Springer Nature Switzerland.
- Vargas, A. R., Alcaraz, J. G., Satapathy, S., Díaz-Reza, J. R., & Lobato, B. Y. (2024). *DMAIC Concepts, Tools, and Industrial Applications*. Estados Unidos: CRC PRESS.

Yang, K. (2007). *Voice of the customer, capture and analysis*. Estados Unidos: McGraw-Hill Companies.

Zambrano, J. D. (2015). *Propuesta para Aumentar la productividad en un proceso de Latas Barnizadas para conservas*. Guayaquil.

## Apéndice A

### Procedimiento de estandarización de una rutina de limpieza durante paros programados

	PROCEDIMIENTO	Versión	01
	CÓDIGO		
	<b>Procedimiento Operativo Estándar</b> <i>Estandarización del Kit y Métodos de Limpieza</i> <i>Línea de Producción XXX</i>	Fecha	DD/MM/AAAA
<b>OBJETIVO</b>	Establecer la composición, ubicación y el método de uso estandarizado de los Kits de Limpieza para cada zona de la línea, con el fin de garantizar la efectividad de la limpieza, prevenir daños al equipo y asegurar que los puntos críticos se resuelvan adecuadamente.		
<b>ALCANCE</b>	Este procedimiento aplica a todas las actividades de limpieza realizadas en las estaciones de la línea de producción de envases de 2 piezas: Prensa, Cámara de Inspección, Paletizado y Enzunchado.		
<b>RESPONSABLE</b>	Área de Mejora Continua y Supervisores de Producción		
<b>DEFINICIONES Y TÉRMINOS</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kit de limpieza:</b> Conjunto estandarizado de herramientas, materiales y productos químicos necesarios para realizar actividades de limpieza en una estación productiva.</li> <li>• <b>Método de limpieza:</b> Secuencia de pasos específicos y técnicas definidas para limpiar un tipo de zona o equipo, incluyendo productos a usar, orden de aplicación y criterios de resultado aceptable.</li> <li>• <b>Limpieza rápida:</b> Limpieza superficial que se realiza sin desarmar componentes, típicamente durante operación o pausas breves (5-15 minutos).</li> <li>• <b>Limpieza profunda:</b> Limpieza que requiere desarmado parcial de componentes, típicamente durante cambios de producto o pausas programadas (15-45 minutos).</li> <li>• <b>Limpieza completa:</b> Limpieza exhaustiva que requiere paro de línea y desarmado completo de secciones, típicamente durante mantenimientos programados (&gt;45 minutos).</li> <li>• <b>Estado óptimo:</b> Condición de limpieza que cumple con el estándar visual establecido para esa zona/equipo.</li> </ul>			
<b>RESPONSABILIDADES</b>			
<p style="margin-left: 20px;"><b>Operadores de Línea</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar el kit de limpieza asignado a su estación</li> <li>• Aplicar métodos estandarizados según tipo de limpieza requerida</li> <li>• Verificar disponibilidad y estado del kit al inicio y final de turno</li> </ul>			

## Apéndice B

### Procedimiento de avisos ante anomalías en la recepción de láminas

	PROCEDIMIENTO	Versión	<i>01</i>
	CÓDIGO		
	Procedimiento Operativo Estándar Aviso ante anomalías en la recepción de láminas Línea de Producción XXX	Fecha	<i>DD/MM/AAAA</i>
<b>OBJETIVO</b>	Establecer un procedimiento estandarizado para la identificación, notificación y gestión oportuna de anomalías detectadas en los bultos de láminas durante su recepción y uso en la línea de producción, con el fin de asegurar una respuesta uniforme, prevenir la generación de envases defectuosos y reducir la variabilidad del proceso.		
<b>ALCANCE</b>	Este procedimiento aplica a la recepción de bultos de láminas, inspección, notificación e intervención del área de calidad.		
<b>RESPONSABLE</b>	Área de Mejora Continua y Supervisores de Producción		
<b>DEFINICIONES Y TÉRMINOS</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Anomalía:</b> Cualquier condición no conforme detectada en los bultos de láminas que pueda afectar la calidad del producto o la estabilidad del proceso.</li> <li>• <b>Bulto de láminas:</b> Unidad de láminas agrupadas y aseguradas mediante film, zunchos u otros elementos de sujeción.</li> <li>• <b>Aviso de anomalía:</b> Comunicación formal realizada por el operador al área de calidad ante la detección de una condición no conforme.</li> <li>• <b>Bitácora de avisos:</b> Registro donde se documentan las anomalías detectadas, su clasificación y las acciones tomadas.</li> <li>• <b>Área de calidad:</b> Departamento responsable de evaluar, decidir y registrar la disposición de las anomalías reportadas.</li> </ul>			
<b>RESPONSABILIDADES</b>			
<p><b>Operadores de Línea</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar la inspección visual de los bultos de láminas al momento de su recepción.</li> <li>• Identificar anomalías tales como láminas golpeadas, bordes dañados, esquinas dobladas, film roto, zunchos sueltos, ondulaciones o hundimientos.</li> <li>• Notificar de manera inmediata al área de calidad ante la detección de cualquier anomalía.</li> <li>• No procesar láminas con anomalías sin autorización del área de calidad.</li> </ul> <p><b>Supervisor de Turno</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asegurar que los operadores conozcan y apliquen el procedimiento.</li> </ul>			

## Apéndice C

### Procedimiento de posicionamiento de envases en el paletizado

	PROCEDIMIENTO	Versión	<i>01</i>
	CÓDIGO		
	Procedimiento Operativo Estándar Posicionamiento de envases en el paletizado Línea de Producción XXX	Fecha	<i>DD/MM/AAAA</i>
<b>OBJETIVO</b>	Establecer un procedimiento estandarizado para el posicionamiento correcto de los envases durante el proceso de paletizado, con el fin de asegurar la estabilidad del pallet, prevenir la caída de envases, reducir la variabilidad operativa y minimizar la generación de defectos asociados a golpes.		
<b>ALCANCE</b>	Este procedimiento aplica al proceso de paletizado de envases de la línea de producción XX encargada de la conformación de envases de dos piezas.		
<b>RESPONSABLE</b>	Área de Mejora Continua, Área de Calidad y Supervisores de Producción		
<b>DEFINICIONES Y TÉRMINOS</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Paletizado:</b> Proceso de agrupación y disposición de envases sobre un pallet para su almacenamiento o transporte.</li> <li>• <b>Pallet:</b> Plataforma utilizada para la carga, almacenamiento y traslado de envases.</li> <li>• <b>Separador:</b> Elemento colocado entre capas de envases para mejorar la estabilidad del pallet.</li> <li>• <b>Capa:</b> Conjunto de envases dispuestos en un mismo nivel dentro del pallet.</li> <li>• <b>Incidente de caída:</b> Evento en el cual uno o más envases se desplazan o caen del pallet durante el proceso.</li> </ul>			
<b>RESPONSABILIDADES</b>			
<p><b>Operadores de Fin de Línea</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asegurar la ocupación de las cuatro esquinas del pallet con envases.</li> <li>• Verificar la alineación uniforme de los envases en cada capa.</li> <li>• Colocar correctamente el separador entre capas, asegurando una cobertura adecuada.</li> <li>• Detener el proceso y notificar al supervisor o al área de calidad ante desviaciones detectadas.</li> <li>• No continuar el paletizado si el posicionamiento no cumple con el método estándar definido.</li> </ul> <p><b>Supervisor de Turno</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar la correcta aplicación del procedimiento durante las rondas de supervisión.</li> <li>• Asegurar que los operadores estén capacitados en el método estándar.</li> <li>• Gestionar acciones correctivas inmediatas ante desviaciones recurrentes.</li> <li>• Coordinar con el área de calidad el seguimiento de incidencias.</li> </ul>			

## Apéndice D

### Plan de control consolidado de las soluciones implementadas

Solución	¿Qué se monitorea?	¿Cómo?	¿Quién?	Frecuencia	Reacción
Estandarizar una rutina de limpieza durante paros programados	Uso de los insumos de limpieza (hisopos de espuma, trapos, atomizador)	Revisar stock en casillero de limpieza	Supervisores	Semanal	Reabastecer insumos faltantes, ajustar stock mínimo
	Limpieza de componentes durante paros programados	Revisar registro en bitácora de limpieza	Mejora Continua - Supervisor	Semanal	Revisas actividades realizadas, analizar componentes que se limpian con frecuencia
	Componentes de pizarra de limpieza	Revisar pizarra de priorización, verificar cumplimiento en bitácora de limpieza	Mejora Continua - Supervisor	Mensual	Hacer ajustes pertinentes a los componentes de la pizarra de prioridades

## Apéndice D.1

### Plan de control consolidado de las soluciones implementadas

Solución	¿Qué se monitorea?	¿Cómo?	¿Quién?	Frecuencia	Reacción
Desarrollo un procedimiento estandarizado para la aplicación de lubricante interno considerando la vida útil del rodillo.	Frecuencia de lubricación por lámina	Registro diario en plantilla de control	Operadores y Supervisores	Diario	Ajustar frecuencia según tendencia de defectos; actualizar procedimiento estándar si se detecta desviación
	Estado de rodillo (desgaste)	Medir desgaste visualmente y registrar resultados; comparar con ciclo de vida definido	Operadores	Diario	Si existe desgaste mayor al límite, se debe realizar un reemplazo preventivo; ajustar frecuencia de cambio si se detectan variaciones
	Cantidad de envases defectuosos por suciedad	Registro en base de datos	Mejora Continua	Semanal	Analizar tendencias y determinar si hay necesidad de reemplazo preventivo del rodillo o ajuste de lubricación
Implementación de rondas de supervisión estructuradas con checklist de verificación	Resultados de inspecciones por bloque	Analizar datos del formulario y calcular el porcentaje de cumplimiento por bloque	Mejora Continua - Supervisor	Semanal	Ajustar bloques a inspeccionar si se detecta baja efectividad; reforzar limpieza en bloques críticos
	Acciones correctivas	Registrar y dar seguimiento a cada ítem marcado como “No cumple”	Mejora Continua - Supervisor	Diario/Semanal	Validar que las acciones correctivas se completen; revisar eficacia en las siguientes rondas

## Apéndice D.2

### Plan de control consolidado de las soluciones implementadas

Solución	¿Qué se monitorea?	¿Cómo?	¿Quién?	Frecuencia	Reacción
Implementación de un mecanismo de fortalecimiento del proceso de avisos ante anomalías en láminas	Cantidad de avisos enviados	Identificar los avisos registrados en el sistema	Mejora Continua - Supervisores	Diario	Si se detecta baja frecuencia, recordar procedimientos, reforzar capacitación
	Tipo de anomalías reportadas	Analizar los datos del registro de avisos, clasificar por tipo y gravedad	Área de calidad - Supervisor	Semanal	Si se repite un tipo de daño, investigar la causa raíz, ajustar instrucciones y comunicar a los operadores
	Acciones tomadas por área de calidad	Revisar cierre de cada aviso	Área de calidad - Supervisor	Semanal	Si hay inconsistencias o retrasos, reforzar procedimiento
Desarrollo de un método estándar para el posicionamiento de envases	Cumplimiento de procedimiento documentado	Revisar registros de capacitación y observaciones de línea	Supervisor – Líder de Línea	Mensual	Si hay desviaciones repetidas, se debe reforzar capacitaciones o actualizar el procedimiento si es necesario
	Incidentes de caída o daños de envases	Analizar reportes de envases golpeados por caídas	Mejora Continua – Supervisor – Área de calidad	Semanal	Determinar causas, ajustar puntos críticos o instrucciones en el procedimiento estándar