

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Reducción de los paros no programados en el área litográfica de una fábrica de
envases

ING - 2778

Proyecto Integrador

Previo a la obtención del título de:

Ingenieros Industriales

Presentado por:

Camila Yanina Asanza Romero

Daniel Andrés Toledo Peñafiel

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

A mis padres, Freddy y Yanina, quienes han sido mi pilar fundamental y apoyo para alcanzar esta meta. Su confianza, amor incondicional y enseñanzas me han inspirado a ser una persona dedicada, perseverante y con la convicción de que todo lo que me proponga es posible.

A mis hermanos, Sofía y Ricardo, por su compañía, consejos y palabras oportunas que me brindaron calma y fortaleza en los momentos más difíciles.

A mis abuelitos, quienes con su ejemplo de esfuerzo, humildad y entrega se convirtieron en una fuente de inspiración constante.

Y a mis mascotas que, con su cariño sincero, alegría y compañía me transmitieron paz y felicidad en medio de las largas jornadas de estudio.

A todos ustedes, dedico este logro, pues cada paso dado en este camino no habría sido posible sin su presencia, apoyo y amor.

Camila Yanina Asanza Romero

Dedicatoria

A mi padre Juan, por sus sabios consejos que siempre han iluminado mi camino;

a mi madre Eddna y a mi hermano mayor Juan Andrés, por escucharme y acompañarme en los momentos más difíciles;

A mi hermana menor Angie, por su apoyo incondicional que me recuerda la importancia de la generosidad;

a Mami Maribel, por su cariño constante; y a mi querida madrina Rosa, por su apoyo y guía en cada etapa.

A todos ustedes, dedico este trabajo como un reflejo de su amor y presencia en mi vida.

Y también me lo dedico a mí mismo, por la perseverancia que me permitió transformar cada reto en aprendizaje, por la disciplina que me llevó a culminar este proceso, y por la convicción de seguir mejorando cada día.

Este logro es también un recordatorio de que soy capaz de alcanzar aquello que me propongo.

Daniel Andrés Toledo Peñafiel

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestras familias, quienes con su amor, paciencia y apoyo incondicional han sido el motor que nos impulsó a lo largo de este proceso.

A nuestros amigos y compañeros, por acompañarnos en largas jornadas de estudio y alentarnos en los momentos de cansancio.

A todo el equipo de trabajo de la institución donde se desarrolló este proyecto, en particular a nuestro cliente clave y nuestros líderes de trabajo, por brindarnos tiempo, confianza y respaldo para llevar a cabo esta investigación.

A nuestra tutora, por su acompañamiento constante y sus observaciones oportunas.

Finalmente, agradecemos a la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) y a sus docentes, por brindarnos una formación académica de excelencia y por transmitirnos valores y conocimientos que nos acompañarán en nuestro desarrollo profesional y personal.

Camila Yanina Asanza Romero

Daniel Andrés Toledo Peñafiel

Declaración Expresa

Nosotros Daniel Andrés Toledo Peñafiel y Camila Yanina Asanza Romero 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, 27 de Mayo del 2025.



Daniel Andrés Toledo
Peñafiel



Camila Yanina Asanza
Romero

Evaluadores

Sofía Anabel López Iglesias, M.Sc.

Profesora de Materia

Ma. Fernanda López Sarzosa, M.Sc.

Tutora de proyecto

Resumen

El presente proyecto se desarrolla en el área litográfica de una empresa productora de envases metálicos, donde los paros no programados constituyen una restricción crítica para la eficiencia operativa. El objetivo es reducir en un 30 % el tiempo de inactividad, pasando de un promedio de 278 horas a 242 horas semanales, con el fin de optimizar el uso de los recursos, disminuir los costos de no calidad y asegurar un flujo constante. La hipótesis plantea que, mediante la identificación de causas raíz y la implementación de soluciones sostenibles, es posible incrementar la disponibilidad de las líneas.

Para lograrlo, se aplica la metodología DMAIC, empleando herramientas como AMEF, la técnica de los 5 porqués, análisis de capacidad y pruebas de hipótesis. El diagnóstico evidencia que los principales factores están relacionados con velocidades inadecuadas de operación según el formato de lámina, la falta de calibración estandarizada en el apilador y la ausencia de registros detallados que limitan el análisis de datos.

Los resultados muestran una reducción del 30% en los paros no programados, un incremento del 15% en la eficiencia de las líneas, una disminución del 59% en los costos de no calidad, una reducción de 57% en el desperdicio de láminas y un aumento del 8% en el cumplimiento operativo.

Palabras clave: DMAIC, sostenibilidad, paros no programados, eficiencia, litografía.

Abstract

This project was carried out in the lithographic area of a metal packaging company, where unplanned downtime constitutes a critical restriction for operational efficiency. The objective is to reduce downtime by 30%, lowering the weekly average from 278 hours to 242 hours, in order to optimize resource use, decrease non-quality costs, and ensure a continuous production flow. The hypothesis states that by identifying root causes and implementing sustainable solutions, it is possible to increase line availability.

To achieve this, the DMAIC methodology was applied, using tools such as FMEA, the 5 Whys technique, capacity analysis, and hypothesis testing. The diagnosis revealed that the main factors were related to inadequate operating speeds depending on sheet format, the lack of standardized calibration in the stacker, and the absence of detailed records that limited data analysis.

The results show a 30% reduction in unplanned downtime, a 15% increase in line efficiency, a 59% decrease in non-quality costs, a 57% reduction in sheet waste, and an 8% increase in operational compliance.

Keywords: DMAIC, sustainability, unplanned downtime, efficiency, lithography.

Índice general

Resumen	VII
Abstract	VIII
Índice general	IX
Abreviaturas	XIII
Simbología	XIV
Índice de Figuras	XV
Índice de Tablas	XVII
Capítulo 1	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del Problema	2
1.3 Justificación del Problema	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo General	4
1.4.2 Objetivos Específicos	4
1.5 Marco teórico	5
1.5.1 Metodología DMAIC	5
1.5.2 VOC	5
1.5.3 Definir	5
1.5.4 Best of me.....	5
1.5.5 GAP	6
1.5.6 SIPOC.....	6
1.5.7 Medición.....	6
1.5.8 Análisis.....	7
1.5.9 AMEF.....	7

1.5.10 Prueba de Normalidad.....	7
1.5.11 Prueba t Pareada	8
1.5.12 Análisis de Capacidad	8
1.5.13 Matriz Impacto - Esfuerzo.....	8
1.5.14 5 Porqués	9
1.5.15 Mejora	9
1.5.16 Control.....	9
Capítulo 2	11
2.1 Metodología	12
2.2 Definición.....	12
2.2.1 Antecedentes del Cliente	12
2.2.2 Diagramación del Proceso (SIPOC).....	13
2.2.3 Necesidades del Cliente	16
2.2.4 Definición de la Variable de Respuesta	20
2.2.5 Definición del Problema.....	22
2.3 Medición.....	22
2.3.1 Prueba de Normalidad	25
2.3.2 Confiabilidad de los Datos	26
2.3.3 Análisis de Estabilidad y Control Estadístico	28
2.3.4 Prueba de Capacidad del Proceso.....	30
2.3.5 Problema Enfocado	31
2.4 Análisis.....	34
2.4.1 AMEF	35
2.4.2 Matriz Impacto-Control.....	36
2.4.3 Plan de Verificación de Causas	37

2.4.4 Cinco ¿Por qué?	41
2.4.5 Causa Raíz Identificada.....	42
2.5 Mejora	43
2.5.1 Soluciones	43
2.5.2 Análisis financiero.....	44
2.5.3 Matriz de priorización Impacto-Esfuerzo	46
2.5.4 Implementación de soluciones	46
2.6 Plan de Control.....	54
Capítulo 3.....	56
3.1 Resultados velocidad óptima de operación	57
3.1.1 Control de la velocidad óptima de operación.....	57
3.1.2 Limitaciones velocidad óptima de operación.....	58
3.2 Resultados de la guía de calibración y ajuste	58
3.2.1 Control de la guía de calibración y ajuste	59
3.2.2 Limitaciones de la guía de calibración y ajuste.....	59
3.3 Resultados y control de la implementación del catálogo de paros no programados...	60
3.4 Resultados de la solución y control del programa de capacitación a operadores	61
3.5 Resultados de la variable de respuesta	61
3.6 Impacto ambiental	63
3.7 Impacto social	64
3.8 Impacto económico	64
Capítulo 4.....	66
4.1 Conclusiones	67
4.2 Recomendaciones.....	68
4.3 Referencias	69

Apéndice.....71

Abreviaturas

AMEF	Analisis Modal de Efectos y Fallas
CTQ	Critical to Quality
DMAIC	Define, Measure, Analysis, Improve and Control
RPN	Risk Priority Number
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers
TVC	Tiempo Velocidad Calidad
VOC	Voice Of Customer

Simbología

h	Horas
min	Minutos

Índice de Figuras

Figura 1 Diagrama de flujo funcional del proceso de impresión y barnizado en las láminas en el área litográfica.....	14
Figura 2 Mapa de actores.	16
Figura 3 VOC de los operadores de línea.	17
Figura 4 VOC del gerente de operaciones, líder y supervisores del área litográfica, y el coordinador de mantenimiento.....	17
Figura 5 VOC de los técnicos mecánicos y eléctricos.	18
Figura 6 Diagrama de afinidad.....	18
Figura 7 Árbol de CTQs (Drivers de Crítico de la Calidad).	19
Figura 8 Indicadores del triple bottom line (Social, Económico y Ambiental).	20
Figura 9 Plan de Mantenimiento del área litográfica.	21
Figura 10 Serie de tiempo del paro no programado semanal.	22
Figura 11 Plan de Recolección de datos.....	23
Figura 12 Foto de la salida del horno de la línea 7.	24
Figura 13 Prueba de Normalidad de los tiempos totales semanales de paros no programados.	26
Figura 14 Gráfica de caja entre las observaciones manuales vs los tiempos tomados por el sensor.	28
Figura 15 Gráfica I de valores individuales y de rango móviles de la variable de respuesta Y....	29
Figura 16 Gráfica II de valores individuales y de rango móviles de la variable de respuesta Y. .	29
Figura 17 Informe de capacidad Sixpack del proceso de paros no programados Semanal.....	30
Figura 18 Diagrama de barras de paros no programados semanales por turno.....	32
Figura 19 Diagrama de barras de paros no programados semanales por tipo de falla.	33
Figura 20 Diagrama de Pareto por tipo de falla durante el día.	34
Figura 21 Criticidad de parámetros.	35

Figura 22 Gráfico del peso de cada causa	36
Figura 23 Matriz impacto-dificultad de causas con mayor ponderación.	37
Figura 24 Pareto evidenciando alto tiempo en horas de enredo de láminas y problemas en el apilador.....	39
Figura 25 Pareto por tipo de formato por enredo de lámina que generan paros no programados.	40
Figura 26 Mapa de calor por tipo de formato, línea de producción y tiempo en horas.	40
Figura 27 Aplicación de 5 ¿Por qué? de los bultos mal apilados.....	41
Figura 28 Aplicación de 5 ¿Por qué? de los enredos de láminas.	41
Figura 29 Causas raíz con sus propuestas de solución.....	43
Figura 30 Estimación del costo de las posibles soluciones	xliv
Figura 31 Matriz impacto dificultad.....	46
Figura 32 Formato de recopilación de información	48
Figura 33 Plan de producción.....	49
Figura 34 Parámetros del apilador	49
Figura 35 Velocidad de la mesa flexible sin etiquetas	50
Figura 36 Primer acercamiento de la implementación del catálogo de los paros no programados	51
Figura 37 Vistazo al catálogo en la línea operativa 5, tipo de falla material	52
Figura 38 Vistazo de la línea operativa 5, tipo de falla material en el alimentador de láminas....	52
Figura 39 Entrenamiento de operadores del correcto uso de la guía de calibración y catálogo de paros no programados	54

Índice de Tablas

Tabla 1 SIPOC del proceso de paros no programados en el área litográfica.	13
Tabla 2 Distribución de las actividades del proceso según su aporte: aquellas que generan valor (AV), las que no lo generan (NAV) y las que, aunque no generan valor directamente, son indispensables para el funcionamiento del proceso (NAVN).	15
Tabla 3 Ficha técnica de especificaciones de las líneas operativas.....	15
Tabla 4 Ficha técnica de equipos por línea operativa	16
Tabla 5 Detalle de nomenclatura del plan de mantenimiento.	21
Tabla 6 Niveles de información - Tipo de Paro de Paro no Programado de Falla Material.	25
Tabla 7 Resultados de la prueba t pareada.	27
Tabla 8 Estadísticas descriptivas entre los tiempos registrados.	27
Tabla 9 Resultados de gráfica de capacidad a corto y largo plazo.....	31
Tabla 10 Resultados del análisis de varianza.	31
Tabla 11 Plan de verificación de causas.....	38
Tabla 12 Velocidad permitida por línea operativa	48
Tabla 13 Plan de control.....	55
Tabla 14 Velocidades propuestas por tipo de formato y línea.	58
Tabla 15 Resultados del análisis de la variable de respuesta antes y después de las implementaciones.....	62
Tabla 16 Análisis de resultados en el primer pase en la línea 4.....	62
Tabla 17 Análisis de resultados en el segundo pase en la línea 5	62
Tabla 18 Análisis de resultados en el tercer pase en la línea 6	63
Tabla 19 Resultados de mejoras en los formatos analizados	63
Tabla 20 Antes y después de las implementaciones	65

Capítulo 1

1.1 Introducción

El área litográfica de una empresa productora y comercializadora de envases metálicos enfrenta elevados tiempos de paros no programados en cada una de las siete líneas de producción que la conforman. Este subproceso es crucial, ya que se encarga del barnizado e impresión de láminas de hojalata, etapas fundamentales para garantizar la calidad visual y funcional del producto final. La alta frecuencia de paros representa una restricción dentro del flujo productivo, afectando directamente la eficiencia operativa de toda la planta.

A lo largo del subproceso litográfico se evidencian distintos tipos de interrupciones, clasificadas como fallas operacionales, mecánicas, eléctricas y de servicios auxiliares. Cada una de estas categorías producen paros no programados que impactan negativamente en la productividad, generan retrasos en las órdenes de producción y comprometen el cumplimiento de entregas, reduciendo así la satisfacción del cliente.

Este proyecto se desarrolla en una empresa ubicada en la ciudad de Guayaquil, dedicada a la fabricación de envases metálicos que abastecen a sectores como la pesca, agricultura, industria y farmacéutica, tanto a nivel nacional como internacional. En vista del impacto negativo de los paros no programados, la organización ha identificado la necesidad de intervenir de manera estructurada el área litográfica, con el objetivo de reducir los tiempos improductivos, mejorar la disponibilidad de las líneas y asegurar un flujo continuo del proceso.

A través de la aplicación de la metodología DMAIC, se busca identificar las causas raíz de las interrupciones, estandarizar procedimientos y fomentar la mejora continua.

1.2 Descripción del Problema

En la empresa productora de envases metálicos, el área de litografía presenta un preocupante incremento en los paros no programados, siendo una de las principales causas de ineficiencia dentro del proceso productivo. Desde enero de 2025, se ha registrado un promedio de 252 horas semanales de inactividad, cifra que supera ampliamente el límite establecido por la

empresa de 180 horas por semana, afectando directamente la capacidad operativa del área y comprometiendo el cumplimiento de los planes de producción.

El proceso litográfico inicia con la recepción de los bultos de hojalata, los cuales son alimentados automáticamente mediante una máquina que los conduce hacia la mesa de barnizado. Cada lámina avanza hacia la barnizadora, donde un rodillo se encarga de aplicar una capa uniforme de barniz sobre su superficie. Posteriormente, las láminas pasan por un horno de curado que opera a una temperatura aproximada de 200 °C, seguido de un sistema de ventilación forzada que asegura su secado completo. Finalmente, las láminas son apiladas ordenadamente para ser trasladadas a las siguientes etapas del proceso

Cuando ocurre un paro no programado en cualquiera de las etapas por fallas mecánicas, eléctricas, operativas o de servicios auxiliares, se interrumpe todo el flujo de trabajo. Aunque el personal técnico actúa para reparar las fallas, no existe un mecanismo estandarizado de control, análisis ni prevención, lo que genera una alta incidencia de problemas y mantiene el proceso en una condición reactiva y no controlada.

1.3 Justificación del Problema

El excesivo tiempo de paros no programados en el proceso de barnizado e impresión de láminas de hojalata representa una restricción crítica dentro del sistema productivo de la empresa. Esta situación no solo interrumpe el flujo operativo, sino que también impacta de forma directa y negativa en los indicadores clave de gestión, tales como los costos de producción, el tiempo medio entre fallas (MTBF), la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta frente a la demanda del cliente.

Una de las causas fundamentales de esta problemática es la ausencia de un sistema eficiente de identificación, clasificación y análisis de fallas, lo cual ha limitado la capacidad de la empresa para implementar acciones correctivas sostenibles.

Frente a este escenario, es imprescindible intervenir el proceso litográfico mediante la aplicación de herramientas de mejora continua, que permitan identificar las causas raíz de los paros no programados, establecer estándares de clasificación y reducir la variabilidad del proceso. Con ello, se podrá mejorar la toma de decisiones, disminuir los tiempos improductivos, aumentar la eficiencia operativa y optimizar el uso de los recursos disponibles.

Además, resolver esta problemática contribuirá directamente a garantizar un flujo continuo y más confiable dentro del proceso productivo, alineado con los objetivos estratégicos de la empresa: asegurar calidad, reducir costos operativos y fortalecer su posicionamiento competitivo en el mercado. La implementación de esta propuesta no solo busca resultados inmediatos, sino también sostenibilidad a largo plazo, mediante la creación de una cultura de mejora basada en datos y procesos estandarizados.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Reducir el tiempo de paros no programados en el área de litografía de la empresa, con el fin de mejorar la eficiencia operativa, reduciendo costos asociados y optimizando el uso de los recursos disponibles.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar las causas raíz que generan los paros no programados en el proceso litográfico de láminas de hojalata, mediante el uso de herramientas de análisis como el AMEF (Análisis Modal de Efectos y Fallas) y los 5 porqués.
- Implementar soluciones sostenibles orientadas a la reducción de los paros no programados en las líneas de producción.
- Determinar indicadores de sostenibilidad en los ámbitos social, económico y ambiental, que midan el desempeño del proyecto.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Metodología DMAIC

La metodología DMAIC es una herramienta de mejora continua de la que consta con cinco fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, identificando problemas, analizando sus causas y diseñando soluciones sostenibles que reduzcan la variabilidad y mejoren el desempeño del proceso. Permite obtener resultados consistentes porque se apoya en herramientas estadísticas, la voz del cliente y el trabajo en equipo interdisciplinario. Su aplicación es común en industrias manufactureras y de servicios debido a su flexibilidad y efectividad para eliminar desperdicios y defectos (Lean Six Sigma Institute, 2025).

1.5.2 VOC

El concepto de *Voice of Customer* (VoC), o “voz del cliente”, se refiere al conjunto de procesos organizados para recopilar, analizar y conocer las opiniones, necesidades y expectativas de los clientes. Según (Ringover, 2023), se obtiene la información a través de encuestas directas a los clientes para que mediante esa información poder realizar un análisis exhaustivo mejorando aliviar los problemas.

1.5.3 Definir

La fase de definición se encarga de establecer con claridad cuál es el problema que se busca resolver y permite conocer de forma estructurada lo que los clientes quieren, sienten y esperan (SPC Consulting Group, 2025).

1.5.4 Best of me

El concepto “**Best of Me**” o “mejor resultado histórico propio” está relacionado con el control de desempeño histórico dentro de herramientas de calidad como el control estadístico de procesos (SPC). Según (Pyzdek & Keller, 2024), revisar el mejor desempeño alcanzado en el

pasado ayuda a establecer límites de desempeño interno realistas, basados en datos que ya han sido alcanzados por el propio sistema.

1.5.5 GAP

El término “GAP” hace referencia a la diferencia cuantificable entre el desempeño actual de un proceso y un nivel de referencia, que puede ser un objetivo interno (*Best of Me*). Este análisis permite visualizar la brecha de mejora que existe entre lo que se está logrando y lo que se desea alcanzar. Calcular el GAP es fundamental para determinar cuánto hay que mejorar y si las oportunidades de mejora son viables o requieren rediseño del proceso (Pyzdek & Keller, 2024).

1.5.6 SIPOC

El diagrama **SIPOC** es una herramienta utilizada en la fase Definir del ciclo DMAIC para representar de manera estructurada los elementos fundamentales de un proceso. Este diagrama permite visualizar de forma macro los proveedores (*Suppliers*), entradas (*Inputs*), proceso central (*Process*), salidas (*Outputs*) y clientes (*Customers*), facilitando la comprensión general del flujo del proceso. Esto es clave para establecer los límites del proceso y alinear al equipo sobre qué aspectos se abordarán en la mejora (Asana, 2025).

1.5.7 Medición

La etapa de medición se enfoca en transformar el problema principal en un resultado claro, específico y cuantificable. Su propósito es identificar y registrar las variables críticas que tienen un impacto directo en la situación que se desea mejorar. Para ello, se elabora un plan de medición que permita recopilar información relevante (Lean Six Sigma Institute, 2025).

1.5.8 Análisis

La etapa de Análisis identifica las causas raíz de los problemas que afectan el desempeño del proceso. En esta etapa, se utilizan datos confiables recopilados en la fase anterior (*Medir*) para entender por qué el proceso no está cumpliendo con los requisitos del cliente o los estándares deseados. Según (Pyzdek & Keller, 2024), esta fase se centra en interpretar patrones y variabilidad en los datos para descubrir los factores que más influyen en los resultados del proceso.

1.5.9 AMEF

El AMEF (Análisis del Modo y Efecto de Fallas), su objetivo principal es clasificar de forma objetiva las posibles fallas, sus causas y consecuencias, con el fin de documentar y prevenir su aparición. Entre sus beneficios destacan el reconocimiento de fallas antes de que ocurran, la cuantificación de su criticidad (gravedad, frecuencia, detección) y el diseño de planes de acción basados en indicadores de riesgo (Ingeniería Industrial Online, 2021).

1.5.10 Prueba de Normalidad

Las pruebas de normalidad sirven para evaluar si los datos recogidos en un estudio presentan una distribución normal, la cual se caracteriza por su forma de campana simétrica, donde la mayoría de los valores se concentran cerca de la media y las probabilidades disminuyen de forma gradual hacia los extremos. Este tipo de distribución es un supuesto clave en muchos métodos estadísticos, ya que permite realizar inferencias con mayor precisión. La prueba Anderson-Darling es la que usamos en este proyecto ya que, otorga mayor importancia a las diferencias que aparecen en las colas de la distribución, ayudando a identificar con más claridad las desviaciones que podrían pasar desapercibidas. (Learn statistics easily, 2025).

1.5.11 Prueba t Pareada

La prueba t pareada (paired t-test) es una técnica estadística utilizada para comparar dos conjuntos de datos obtenidos de los mismos sujetos en distintas condiciones, evaluando si la diferencia entre las medias de estos pares es significativa. Para esto es necesario calcular el estadístico t que se obtiene dividiendo la media de las diferencias entre el error estándar (desviación estándar dividido por la raíz del número de pares), y se comparan con una distribución t con $n-1$ grados de libertad. Si el valor p resultante es inferior al nivel de significancia elegido (por ejemplo, 0.05), se concluye que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las mediciones emparejadas o si es mayor, se concluye que las medias son significativamente iguales (Learn statistics easily, 2025).

1.5.12 Análisis de Capacidad

El análisis de capacidad sirve para evaluar qué tan bien un proceso cumple con sus límites de especificación; el C_p compara el ancho de la tolerancia con seis desviaciones estándar del proceso, y C_{pk} refleja el centrado y ancho de los límites. Si el proceso está bajo control estadístico, C_{pk} y P_{pk} se igualan, pero si existe variación adicional en el tiempo, P_{pk} suele ser menor, revelando espacio para mejoras. En general, valores de estos índices superiores a 1,33 indican que el proceso es capaz, siendo 2,0 o más ideales para niveles de calidad elevados. considerando la variabilidad dentro de subgrupos (Statologos, 2022).

1.5.13 Matriz Impacto - Esfuerzo

La Matriz de Impacto-Esfuerzo es una herramienta visual que facilita la toma de decisiones al clasificar tareas en función de su valor y del recurso que demandan. Básicamente se divide en cuatro cuadrantes: las “victorias rápidas” (alto impacto, bajo esfuerzo), proyectos estratégicos (alto impacto, alto esfuerzo), tareas menores (bajo impacto, bajo esfuerzo) y trabajos de poco beneficio que consumen mucho (bajo impacto, alto esfuerzo) Iniciar con las labores de

alto impacto y bajo esfuerzo para obtener resultados inmediatos, mientras se planifican cuidadosamente las iniciativas más complejas y de impacto; las tareas poco útiles deberían reevaluarse o eliminarse del plan. El proceso consta de identificar todas las actividades, estimar su impacto y esfuerzo, ubicarlas en el gráfico y revisar periódicamente para ajustar prioridades según cambien los objetivos o recursos (FasterCapital, 2025).

1.5.14 5 Porqués

La técnica de los 5 porqués es una herramienta de análisis de causa raíz diseñada para identificar el origen de un problema preguntando “¿Por qué?” de manera repetida. La idea es que al repetir la pregunta varias veces (generalmente cinco, aunque no es un número fijo) se profundice hasta encontrar la causa real que origina el problema, en lugar de quedarse en síntomas superficiales (Pyzdek & Keller, 2024).

1.5.15 Mejora

La fase de Mejora se centra en identificar, diseñar y probar soluciones específicas que mitiguen las causas raíz detectadas. El equipo genera ideas y utiliza herramientas estructuradas como Diseño de Experimentos (DOE) para evaluar qué cambios realmente mejoran la variabilidad del proceso. Estas soluciones se ensayan a través de pilotos o simulaciones en pequeña escala antes de su despliegue completo, lo que permite ajustar tácticas sin afectar la operación global. Una vez validadas, se implementan de manera controlada y planificada, asignando recursos y responsables para asegurar una transición efectiva (Pyzdek & Keller, 2024).

1.5.16 Control

La fase de Control tiene como propósito consolidar las mejoras obtenidas y asegurar que no se reviertan con el tiempo. Para ello se desarrollan planes de control como herramientas de Monitoreo Estadístico de Procesos (SPC), especialmente Gráficos de Control, para vigilar

indicadores clave (KPIs) y detectar cualquier variación atípica o tendencia adversa. Además, se asegura la efectividad de estas medidas mediante formación continua, auditorías y sesiones de revisión, garantizando que el equipo mantenga el rendimiento logrado y se adopte una cultura de mejora permanente (Six Sigma Online, 2023).

Capítulo 2

2.1 Metodología

Este estudio utiliza la metodología DMAIC, que abarca las fases de definición del problema, medición de datos relevantes, análisis para identificar la causa raíz, mejora del proceso mediante soluciones evaluadas y control de desempeño. A continuación, se detalla su aplicación.

2.2 Definición

En esta primera fase, se llevó a cabo un análisis de la situación actual de la empresa para identificar el problema principal, definir el alcance del proyecto, establecer los objetivos a lograr y determinar las variables para evaluar el desempeño del proyecto.

2.2.1 Antecedentes del Cliente

La empresa está ubicada en Guayaquil, Ecuador y se dedica a la fabricación de envases metálicos, principalmente para los sectores industriales, pesqueros, la agricultura y farmacéutica.

El cliente en este estudio corresponde al área de mantenimiento de la planta litográfica, registrando un alto impacto en su eficiencia por los paros no programados. El área cuenta con 25 operadores de línea, un supervisor del área, donde los tres técnicos mecánicos y tres técnicos eléctricos de turno, atienden el 100% de los paros no programados mecánicos y eléctricos respectivamente de las líneas operativas.

El cliente espera reducir el total de los tiempos de paros no programados por semana, utilizando como referencia las semanas de mayor productividad. Además, busca implementar mejoras sostenibles basadas en el análisis, cuyas soluciones puedan ser replicables en otras líneas operativas.

2.2.2 Diagramación del Proceso (SIPOC)

Se construyó un diagrama SIPOC con el fin de comprender el flujo de trabajo durante un paro no programado en el área litográfica. En la Tabla 1 se describen los elementos esenciales de este sistema: proveedores, entradas, actividades del proceso, resultados y clientes. El alcance del proyecto inicia desde la detección de la falla hasta que esta es reparada y el proceso continúa con normalidad.

Tabla 1

SIPOC del proceso de paros no programados en el área litográfica.

Proveedores	Entradas	Proceso	Salidas	Clientes
Operadores de línea	Alerta de sensores	1. Detección del paro no programado	Falla clasificada	Producción / Planificación
		2. Clasificación de la falla	Reparación ejecutada	
Proveedores de repuestos	Reporte de operadores	3. Diagnóstico y reparación	Tiempo de paro no registrado (minutos)	Mantenimiento preventivo
Sistema de sensores y monitoreo	Repuestos críticos	4. Validación de funcionamiento	Reporte de causa raíz (fallas técnicas)	Gerencia
Mecánicos / Electro-mecánicos	Herramientas de mantenimiento	5. Reinicio de producción	Línea operativa	Clientes externos

Nota. El presente diagrama SIPOC representa exclusivamente las actividades involucradas en la detección y solución de paros no programados dentro del proceso de litografiado.

A modo de representar las secuencias operativas en el área de litografiado, se elaboró un diagrama flujo funcional (Figura 1.) que segmenta las actividades de acuerdo con las máquinas utilizadas. Al realizar un análisis del diagrama de flujo funcional se reveló que el 36,36% de las actividades agregan valor (Tabla 2). Cabe añadir que se identificó las fábricas ocultas que limitan el desempeño del sistema. La primera está relacionada con la ausencia de

un listado definido de repuestos críticos, lo cual impide que el operador de línea pueda solucionar ciertos paros no programados mediante un mantenimiento autónomo. La segunda corresponde a la falta de una herramienta de planificación, lo que derivar a la pérdida de oportunidades, ineficiencia operativa y desperdicio de recursos. Este diagrama es una representación general del desarrollo del proceso productivo y la configuración de las distintas líneas operativas dentro de dicha área (Tabla 3).

Figura 1

Diagrama de flujo funcional del proceso de impresión y barnizado en las láminas en el área litográfica.

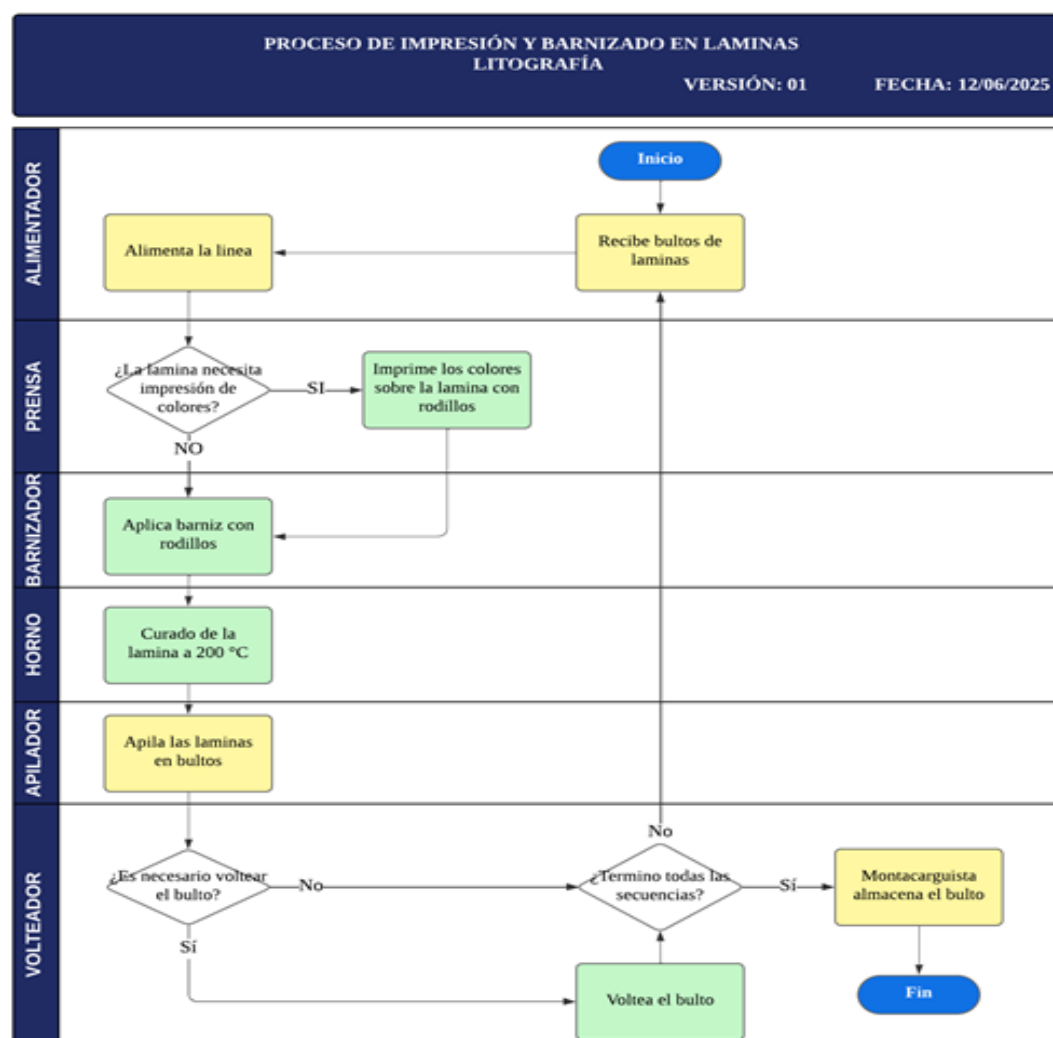


Tabla 2

Distribución de las actividades del proceso según su aporte: aquellas que generan valor (AV), las que no lo generan (NAV) y las que, aunque no generan valor directamente, son indispensables para el funcionamiento del proceso (NAVN).

Tipo de actividad	Porcentaje
AV	36,36%
NAV	27,27%
NAVN	36,36%

En la siguiente Tabla 3 se describe la ficha técnica de especificaciones por las siete líneas operativas.

Tabla 3

Ficha técnica de especificaciones de las líneas operativas

	LB01	LBX2	LB03	LB04	LB05	LB06	LBX7
Longitud de Horno [m]	30	24	27	39	42	33	39
Ancho De Lámina Max [mm]	1052	1006	1006	1052	1052	1150	1150
Ancho De Lámina Min [mm]	702	706	706	702	702	710	514
Longitud Lámina Max [mm]	964	900	1000	964	964	960	964
Longitud Lámina Min [mm]	675	512	512	675	675	510	675

Es importante destacar que no todas las líneas operativas cuentan con las mismas máquinas, por lo que pueden existir variaciones en la disposición de los equipos. También, se observa que existen líneas operativas que tienen bastantes años de antigüedad, como se detalla en la (Tabla 4).

Tabla 4

Ficha técnica de equipos por línea operativa

Equipos\Líneas	LB01	LBX2	LB03	LB04	LB05	LB06	LBX7
Alimentador	X	X	X	X	X	X	X
Impresora		X					X
Barnizador	X	X	X	X	X	X	X
Horno	X	X	X	X	X	X	X
Apilador	X	X	X	X	X	X	X
Volteador	X				X		X
Año	1995	1980	1980	1998	2001	2005	2006

2.2.3 Necesidades del Cliente

Con base en el análisis previo, se entrevistó a los actores involucrados descritos en las (Figuras 2,3,4,5) recopilando información sobre lo que piensan del problema desde el punto de vista de los actores.

Figura 2

Mapa de actores.

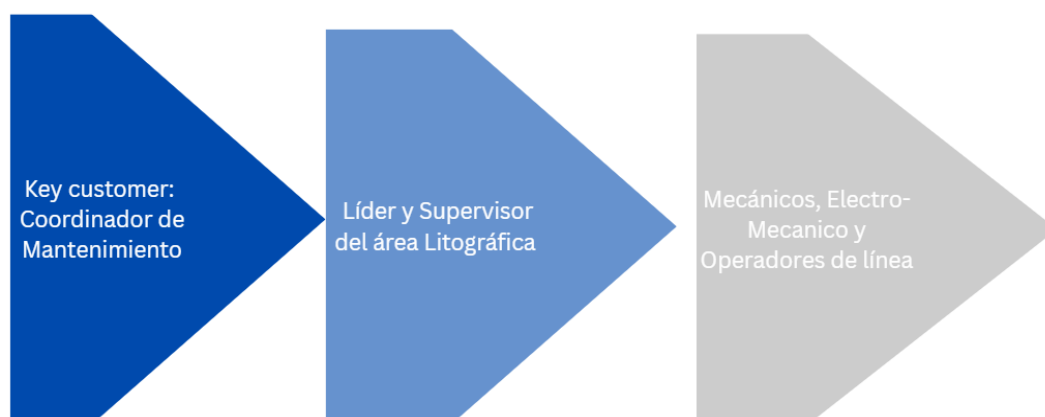


Figura 3

VOC de los operadores de línea.

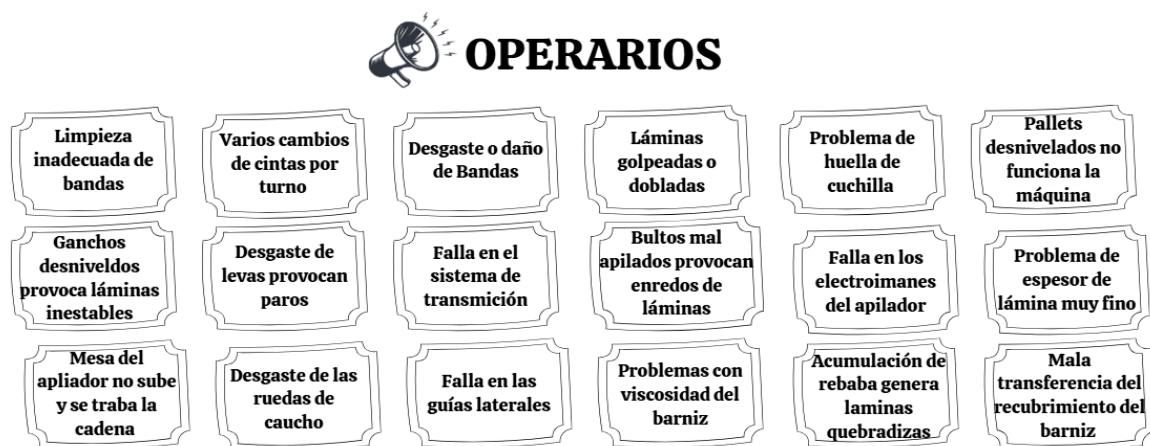


Figura 4

VOC del gerente de operaciones, líder y supervisores del área litográfica, y el coordinador de mantenimiento.

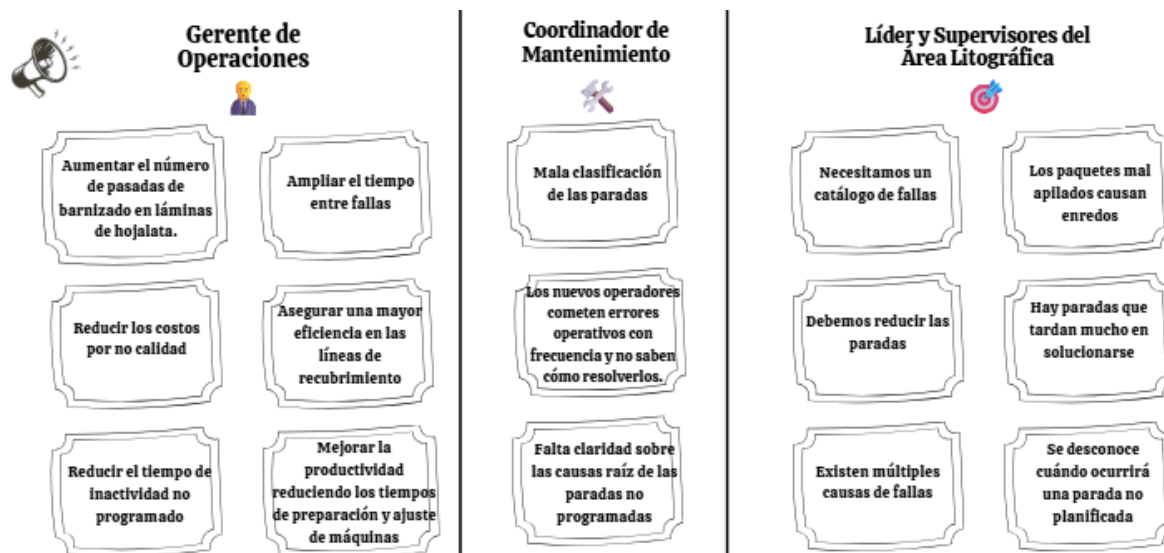
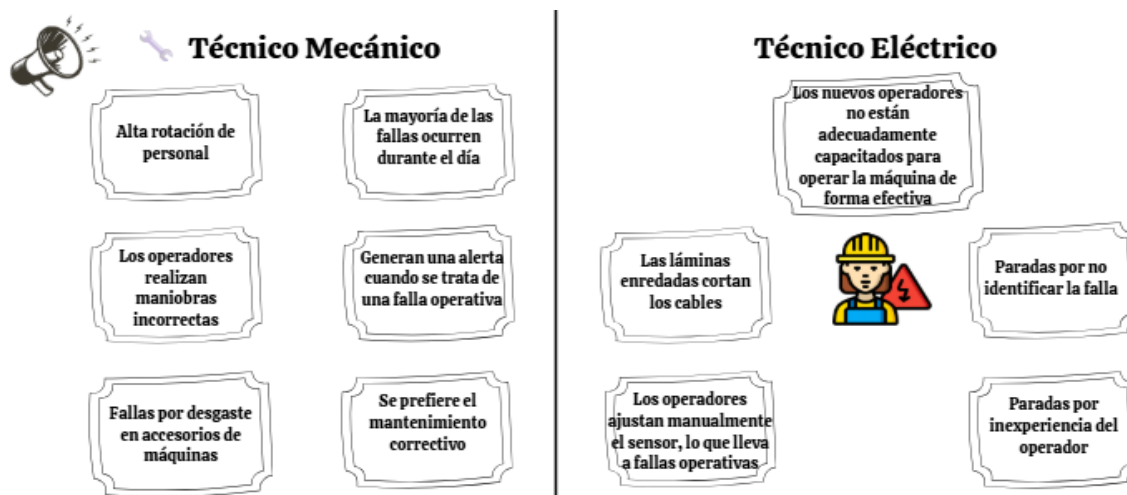


Figura 5

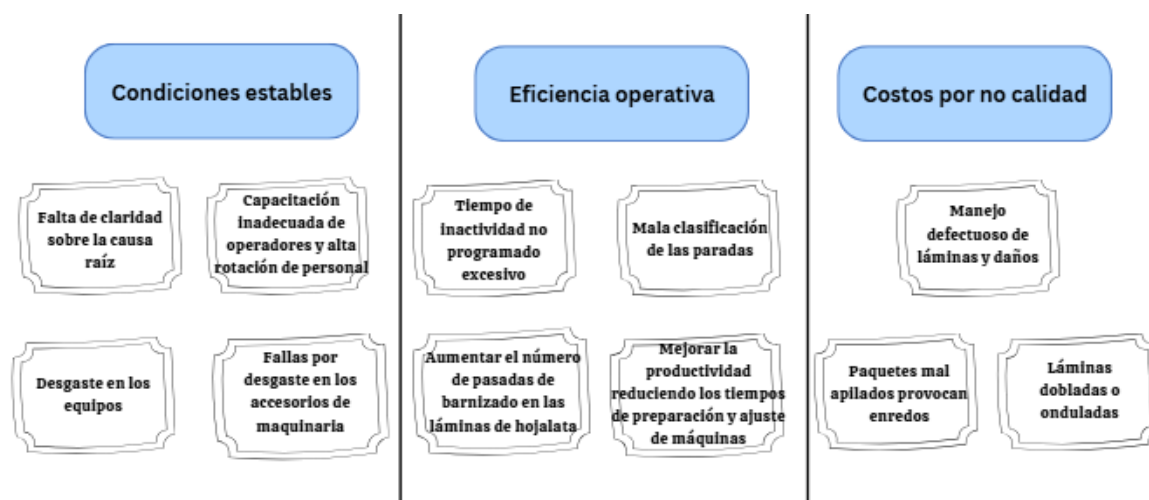
VOC de los técnicos mecánicos y eléctricos.



A partir de los VOC en las (figura 6) se identificaron las necesidades del cliente, donde fueron analizadas y se definieron los drivers en el diagrama de afinidades.

Figura 6

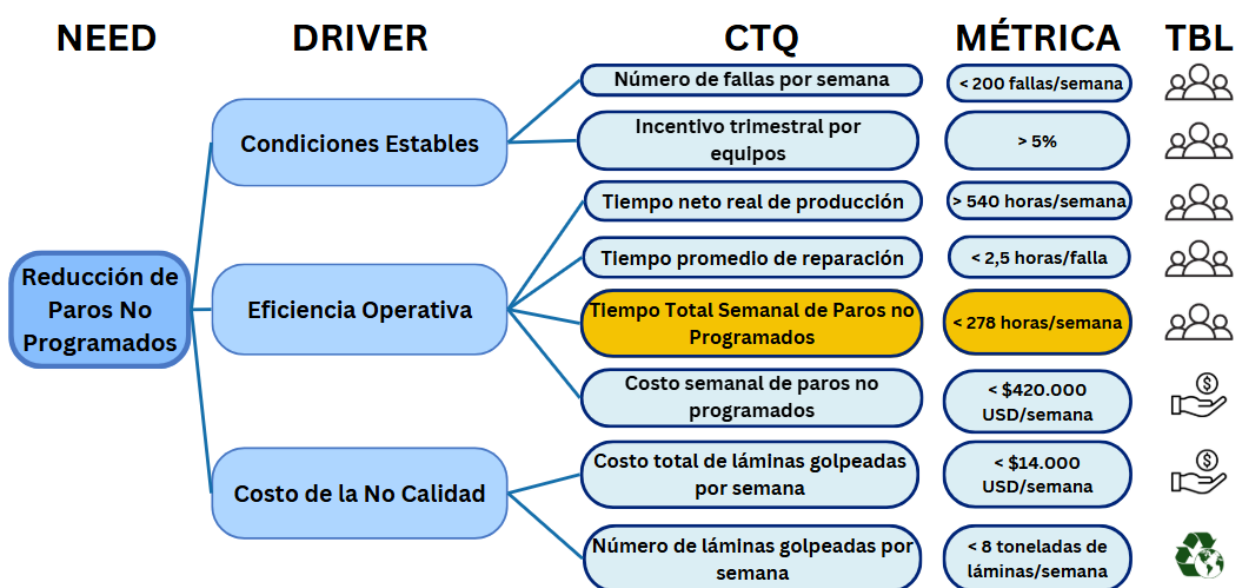
Diagrama de afinidad.



En función del análisis en el diagrama previo, se definieron los CTQs relacionados con las condiciones estables, eficiencia operativa y los costos de no calidad, con el propósito de evaluar las necesidades identificadas (Figura 7).

Figura 7

Árbol de CTQs (Drivers de Crítico de la Calidad).



De estos críticos de calidad declaramos tres medidas para establecer una relación con los tres pilares de la sostenibilidad TBL (Triple bottom line) (Figura 8).

Figura 8

Indicadores del triple bottom line (Social, Económico y Ambiental).



2.2.4 Definición de la Variable de Respuesta

A partir de uno de los indicadores del CTQ se decidió usar como variable de respuesta Y, total semanal de paros no programados. Esta variable “Y” corresponde al tiempo semanal en el que una línea de producción permanece detenida debido a fallas no programadas, medido desde el inicio de la falla hasta que esta es reparada y el proceso retoma su funcionamiento normal. En la figura 9 se muestra el plan de mantenimiento del área litográfica, siendo una variable determinante para determinar el best of me.

Figura 9

Plan de Mantenimiento del área litográfica.

	2025																										
	FEB					MAR					ABR					MAY					JUN				JUL		
LINE	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27				
LBX3					CE						LN											LN		LE			
LBX7			LE						CN					CE													
LB01					LE				LN				CN		LE				LN								
LB02				CE			LE						LN				CN				LN			LE			
LB04			LE				TN			TE					LE				LN					LE			
LB06	LE								LE		TN				LE			TN	TE					LE			
LB05			LE				LN						LN		TN								TN	TE			

La Tabla 5 detalla información de como leer las abreviaturas en el plan de mantenimiento de la Figura 9.

Tabla 5

Detalle de nomenclatura del plan de mantenimiento.

	Frecuencia [Semanas]	Duración [Días]	Detalles
CE	16	5	MTTO. Cuatrimestral Ejecutado
CN	-	-	MTTO. Cuatrimestral No Ejecutado
TE	12	5	MTTO. Trimestral Ejecutado
TN	-	-	MTTO. Trimestral No Ejecutado
LE	4	1	Limpieza Ejecutada
LN	-	-	Limpieza No Ejecutada

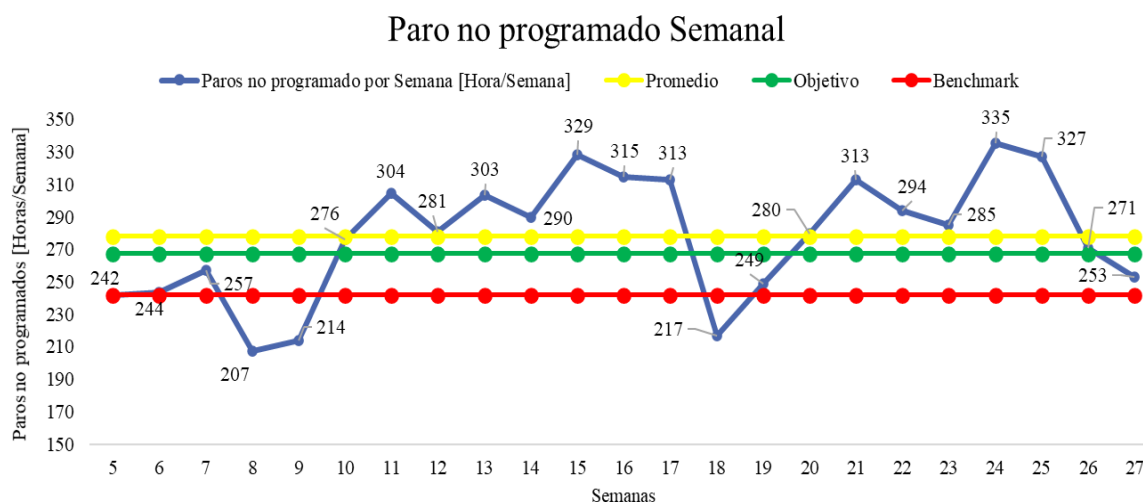
La Figura 10 muestra el comportamiento de los tiempos de paros no programados por semana, desde febrero hasta la primera semana de Julio. Durante este periodo, se registró un promedio de 278 horas semanales de paros no programados.

Con el objetivo de definir un valor de referencia (*Best of me*), se excluyeron de la serie de tiempo las semanas con mantenimiento programado. Bajo este criterio, la semana 5 fue identificada como el menor tiempo registrado, con 242 horas semanales de paros no

programados, lo que representa una diferencia de 36 horas por semana con respecto al promedio semanal.

Figura 10

Serie de tiempo del paro no programado semanal.



2.2.5 Definición del Problema

Desde febrero de 2025, el departamento de litografía de una empresa de envases metálicos ha registrado un promedio de 278 horas semanales de paros no programados, superando significativamente el límite superior establecido por la empresa de 242 horas semanales.

A la diferencia entre el tiempo promedio registrado y el límite establecido por la empresa de 36 horas se busca reducir en por lo menos un 30 %. Es decir, el objetivo es reducir como mínimo 10,8 horas de paros no programados a la semana.

2.3 Medición

Para la fase de Medición, analizamos los datos principalmente de la base del sistema interno, donde se registran los paros no programados con información como fecha, línea, duración, turno y tipo de falla. Además, realizamos observaciones directas en planta para

entender mejor las fallas y validar lo que se había registrado. También conversamos con operadores y técnicos para aclarar dudas y asegurarnos de que los datos estuvieran bien clasificados. Con esta información, levantamos un catálogo más detallado de fallas, lo que nos permitió tener una base confiable para el análisis.

Para esta etapa, se definió un plan para recolectar los datos, y factores de estratificación para poder analizar el problema enfocado (Véase Figura 11).

Figura 11

Plan de Recolección de datos.

QUÉ			DÓNDE	CUÁNDO	CÓMO	POR QUÉ	QUIÉN	Factores de Estratificación
Medición Operacional	Unidad de Medida	Tipo de Dato	¿Dónde se recopila?	¿Cuándo se recopiló?	Método de Recolección	¿Por qué se recopila?	Persona que lo recopiló	
Tiempo Total Semanal de paros no programados	Horas	Continuo	Simatic - Herramienta interna	Desde enero de 2025	Datos de SIMATIC	Determinar el tiempo total de paros no programados	Coordinador Regional de Mantenimiento	Tipo de Falla / por Turno
Tiempo de reparación de fallas	Horas	Continuo	Simatic - Herramienta interna	Segundo trimestre	Datos de SIMATIC	Determinar el tiempo total de reparación de fallas	Camila y Daniel	Tipo de Falla / por Turno
Tiempo neto de operación	Horas	Continuo	Simatic - Herramienta interna	Segundo trimestre	Datos de SIMATIC	Conocer si estamos mejorando la eficiencia operativa	Camila y Daniel	Por Semana / Por Turno / Por Línea Operativa
Número de paros no programados	Conteo	Discreto	Simatic - Herramienta interna	Segundo trimestre	Datos de SIMATIC	Determinar cuántos paros no programados hay por turno	Camila y Daniel	Tipo de Falla / por Turno / por Línea Operativa
Número de cambios de formato	Conteo	Discreto	Plan de Producción	Segundo trimestre	Estudio de tiempos	Conocer el potencial cuello de botella	Planificador de Producción	Tipo de Falla / por Turno / por Línea Operativa
Número de láminas dobladas u onduladas	Conteo	Discreto	Reporte de Costos por No Calidad	Segundo trimestre	Estudio de tiempos	Conocer el potencial de reducción en costos por no calidad y huella de carbono	Coordinador de Mejora Continua	N/A
Incremento del incentivo trimestral para operadores	Conteo	Discreto	Simatic	Segundo trimestre	Estudio de tiempos	Determinar cuántas láminas han sido barnizadas	Operaciones	N/A

Toda la información se recopila a través de un sistema automatizado que utiliza sensores inductivos para contar las hojas al final de la línea de producción. Estos sensores envían datos en tiempo real a un sistema central, donde se organiza la información en una

línea de tiempo. En la Figura 12 se puede observar la dirección del movimiento de las láminas y la ubicación del sensor inductivo.

Figura 12

Foto de la salida del horno de la línea 7.



Los sensores inductivos son utilizados en el proceso debido a su rápido tiempo de respuesta y a su insensibilidad a la contaminación, como aceite o barniz, ideal para el entorno y condiciones de trabajo. Además, los sensores ayudan a eliminar el error humano en la toma de tiempos.

Los operadores complementan los datos clasificando cada evento en el sistema central, segmentando los tiempos en etiquetas como producción, tipos de fallas, cambio de formato y cambio de bulto. En adición, los operadores pueden añadir comentarios opcionales.

En la Tabla 6, se presenta como se desglosa la información por niveles y se observó una falta de estandarización en la categoría de nivel 3, ya que no incluye todos los problemas que actualmente ocurren en el proceso. Por otra parte, el registro de los paros no programados de falla no incluye una segmentación adecuada, de en donde está pasando el motivo de la parada de la línea. Como resultado, en el catálogo actual muchos problemas reales no están en la lista desplegable del sistema, existe una limitante para saber en qué parte de la línea existen más problemas, restringiendo la clasificación y análisis adecuados.

Tabla 6

Niveles de información - Tipo de Paro de Paro no Programado de Falla Material.

Nivel 1 - Estado	Nivel 2 - PNP Falla -Tipo de Falla	Nivel 3 - PNP Falla Material - Categoría
Cambio de Formato	Falla Material	Problemas de Barniz_Barnizado
PSP Diario	Falla Eléctrica	Problemas de Comba_Ondulación
PSP Eventual	Falla Operacional/Calibración	Problemas de Espesor
Externo	Falla Material	Problemas con Rodillo
PNP Falla	Falla Servicios Auxiliares	Enredos de Láminas
Falta	Falla Mecánica	Problema de Bandas

Nota. **PSP** significa Paros Si Programado, **PNP** significa Paro No Programado.

2.3.1 Prueba de Normalidad

Para llevar a cabo el análisis estadístico de los datos, se aplicó una prueba de normalidad a la serie de tiempo, cuyo resultado presentan en la Figura 13.

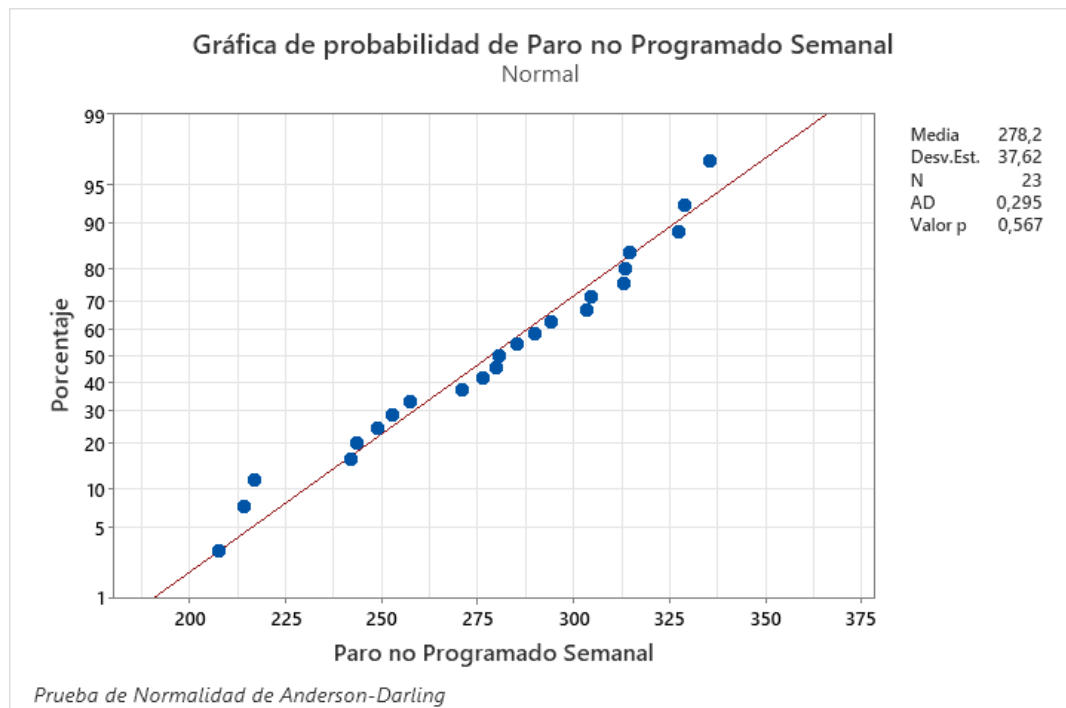
Hipótesis nula H_0 : Los datos siguen una distribución normal

Hipótesis alternativa H_1 : Los datos no siguen una distribución normal

Dado que el valor P obtenido fue de 0,567 (ver Figura 13), no se cuenta con suficiente evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que los datos presentan una distribución normal.

Figura 13

Prueba de Normalidad de los tiempos totales semanales de paros no programados.



Nota. Los tiempos fueron tomados desde febrero hasta la primera semana de junio

2.3.2 Confiabilidad de los Datos

Con el objetivo de evaluar la confiabilidad de los datos recopilados de la variable de respuesta a paros no programados semanal, se realizó una comparación entre 104 registros obtenidos mediante observación manual y los tiempos capturados por el sensor.

Se realizó una prueba de t de muestras pareadas (*paired-samples t test*), para determinar si existe una diferencia significativa entre las medias de los dos métodos de medición.

Hipótesis nula H_0 : diferencia $_{\mu} = 0$

Hipótesis alternativa H_1 : diferencia $_{\mu} \neq 0$

Como se observa en la Tabla 7, el valor P obtenido fue de 0,44, lo que indica que no se cuenta con suficiente evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis

nula. En consecuencia, se concluye que no existe una diferencia significativa entre los tiempos registrados por el sensor y las observaciones manuales ver (Tabla 8).

Tabla 7

Resultados de la prueba t pareada.

Valor T	Valor P
-0,77	0,44

Tabla 8

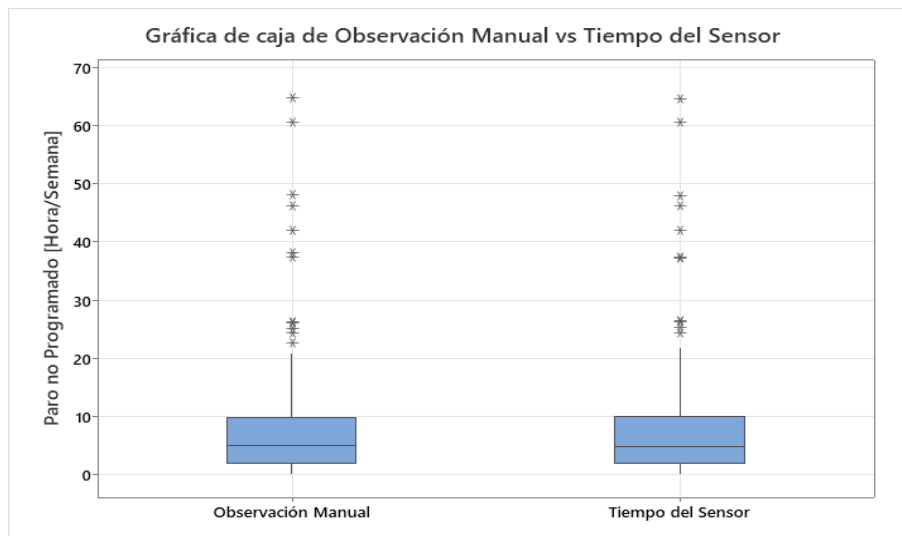
Estadísticas descriptivas entre los tiempos registrados.

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Tiempo del Sensor	104	9,10	12,45	1,22
Observación Manual	104	9,12	12,49	1,22

Complementariamente, en la Figura 14 se presenta un gráfico de caja que permite visualizar el grado de similitud entre ambas series de datos. La dispersión y distribución de ambas mediciones muestran comportamientos similares.

Figura 14

Gráfica de caja entre las observaciones manuales vs los tiempos tomados por el sensor.



En resumen, los resultados indican que los datos registrados por el sensor son consistentes con las observaciones manuales, por lo que la información recolectada se considera confiable para los posteriores análisis.

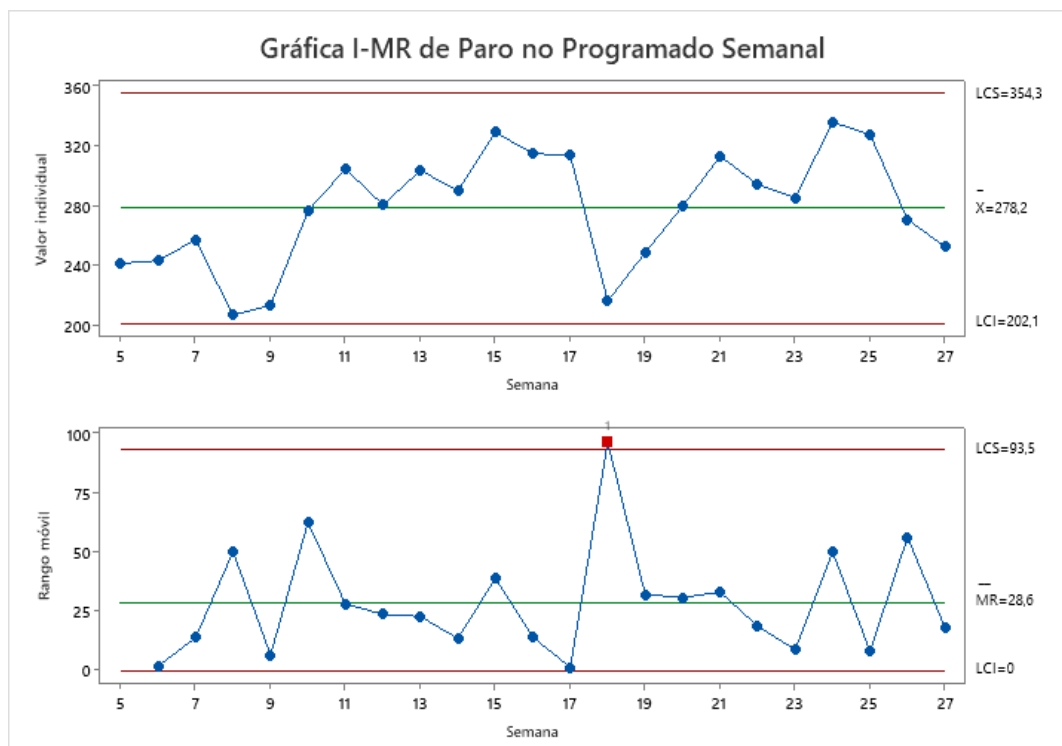
2.3.3 Análisis de Estabilidad y Control Estadístico

Como parte del análisis de nuestra serie de tiempo, fue necesario identificar y eliminar valores atípicos que se encuentran fuera de los límites de control definidos por tres desviaciones estándares con respecto a la media. Esto garantiza que el proceso se encuentra bajo control estadístico y que los datos reflejan condiciones normales operativas.

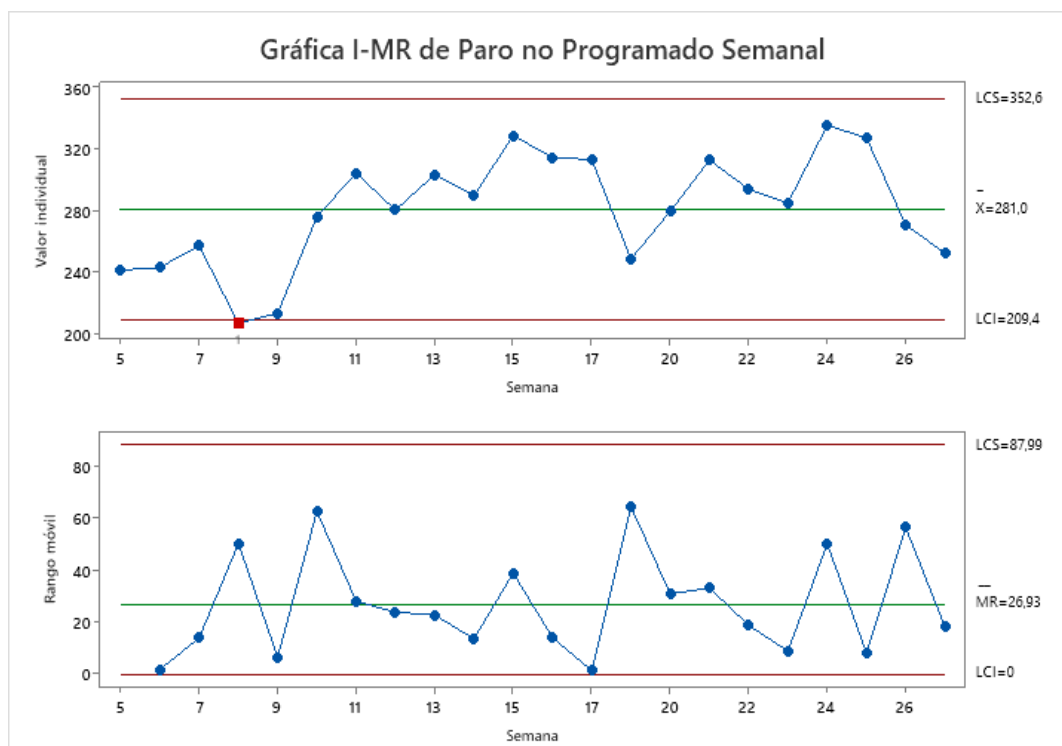
En la Figura 15 se observa un punto fuera del límite de control en la semana 18. Este comportamiento atípico coincide con un mantenimiento programado para la línea 7 (ver Figura 9). Tras la eliminación de este punto, surge un nuevo punto fuera de control correspondiente a la semana 8, el cual también coincide con otro evento de mantenimiento programado, esta vez en la línea 2 ver (Figura 16).

Figura 15

Gráfica I de valores individuales y de rango móviles de la variable de respuesta Y.

**Figura 16**

Gráfica II de valores individuales y de rango móviles de la variable de respuesta Y.



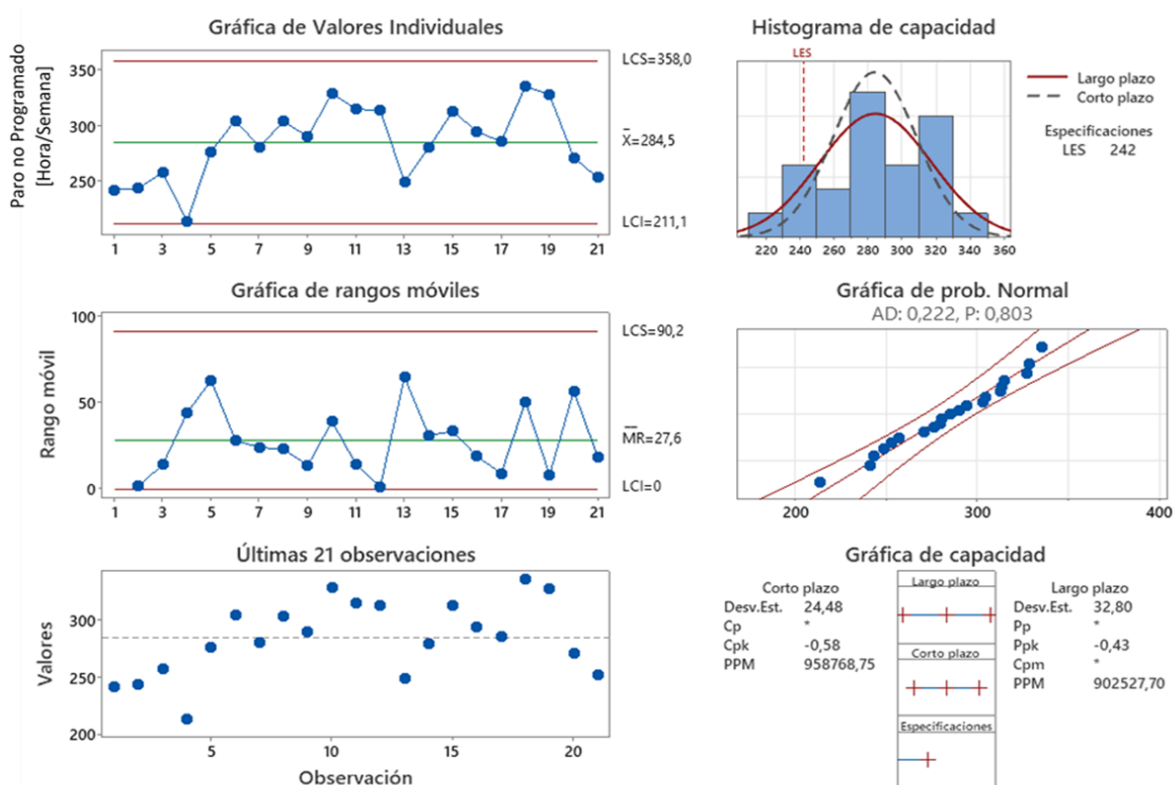
Una vez eliminados los puntos atípicos de las semanas 18 y 8, el comportamiento de los paros no programados muestra un comportamiento estable y bajo control estadístico. Esta condición permite continuar con el análisis mediante una prueba de capacidad.

2.3.4 Prueba de Capacidad del Proceso

En la Figura 17, los resultados mostrados en la Tabla 9 indican que tanto el Cpk como el Ppk son menores a 1. Esto significa que el proceso no es capaz de cumplir consistentemente con el límite superior de especificación establecido por la empresa (242 horas semanales), evidenciando una capacidad insuficiente del proceso.

Figura 17

Informe de capacidad Sixpack del proceso de paros no programados Semanal.



La dispersión real del proceso es representada por 6 sigma.

Tabla 9

Resultados de gráfica de capacidad a corto y largo plazo.

Indicador	Valor	Interpretación
Ppk	-0,43	Capacidad muy pobre (Fuera del límite superior de especificación)
Cpk	-0,58	Pobrementemente centrado, fuera del límite superior (LES = 242 horas/semana)

Aunque el proceso se encuentra bajo control estadístico, tal como se observa en la

2.3.5 Problema Enfocado

Se realizó un análisis de varianza de un factor (*One-Way Factor*), con el objetivo de comparar si existe una diferencia significativa entre las medias de los paros no programados semanales en el turno diurno y nocturno.

Hipótesis nula H_0 : Todas las medias son iguales

Hipótesis alternativa H_1 : No todas las medias son iguales

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Tabla 10

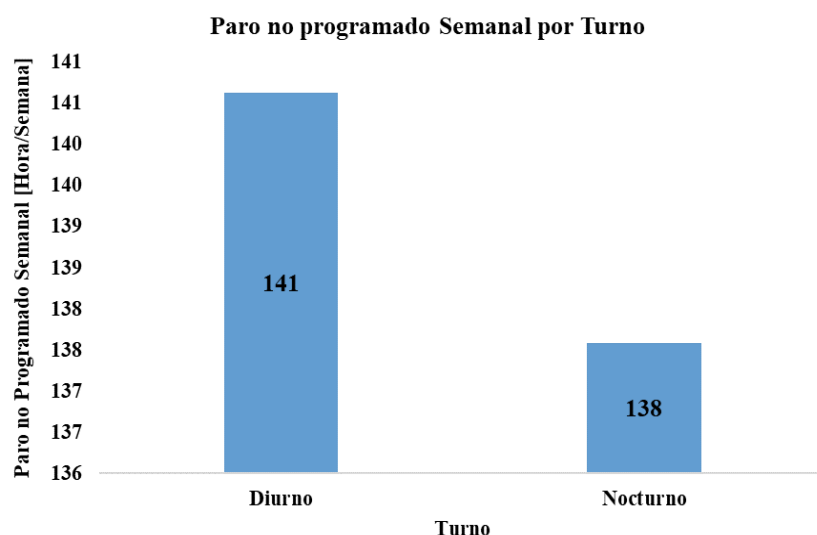
Resultados del análisis de varianza.

Valor F	Valor P
5,54	0,019

Como se observa en la Tabla 10, el valor P obtenido fue de 0,019, lo que indica que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula. En consecuencia, se concluye que existe una diferencia significativa entre los turnos del día y noche. Por lo tanto, se selecciona el turno diurno para continuar con el análisis, ya que presenta una media mayor de paros no programados semanales (véase Figura 18).

Figura 18

Diagrama de barras de paros no programados semanales por turno.



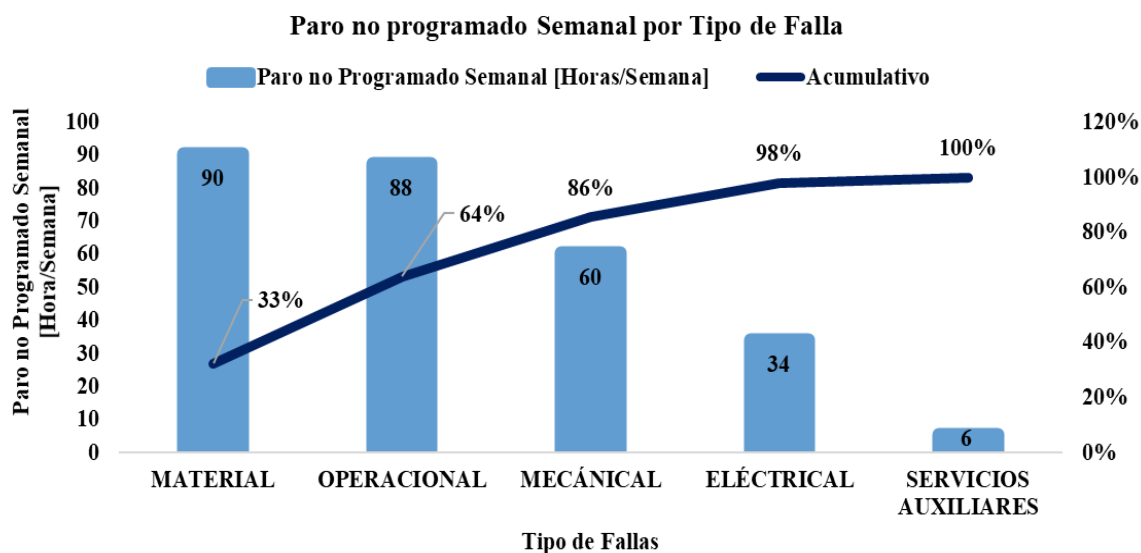
Adicionalmente, se realizó una estratificación de los paros no programados semanales por tipo de fallas como se muestra en la Figura 19, con el objetivo de identificar las categorías más frecuentes y con mayor impacto. Se determinó que las fallas materiales (32%) y operacionales (31%) concentran en conjunto el 64% del tiempo total semanal de paros no programados, por lo que el análisis se enfocará exclusivamente en estas dos categorías.

Aunque las fallas mecánicas representan un 22% del total, no se incluirán en el análisis debido a que usualmente requiere de personal especializado, herramientas dedicadas y tiempos largos de intervención, lo que dificulta la aplicación de mejoras inmediatas.

Las fallas operacionales y materiales ofrecen oportunidades de mejoras más accesibles, tales como ajustes de procedimientos, ampliación de las corridas de producción y la implementación de herramientas de mantenimiento autónomo.

Figura 19

Diagrama de barras de paros no programados semanales por tipo de falla.



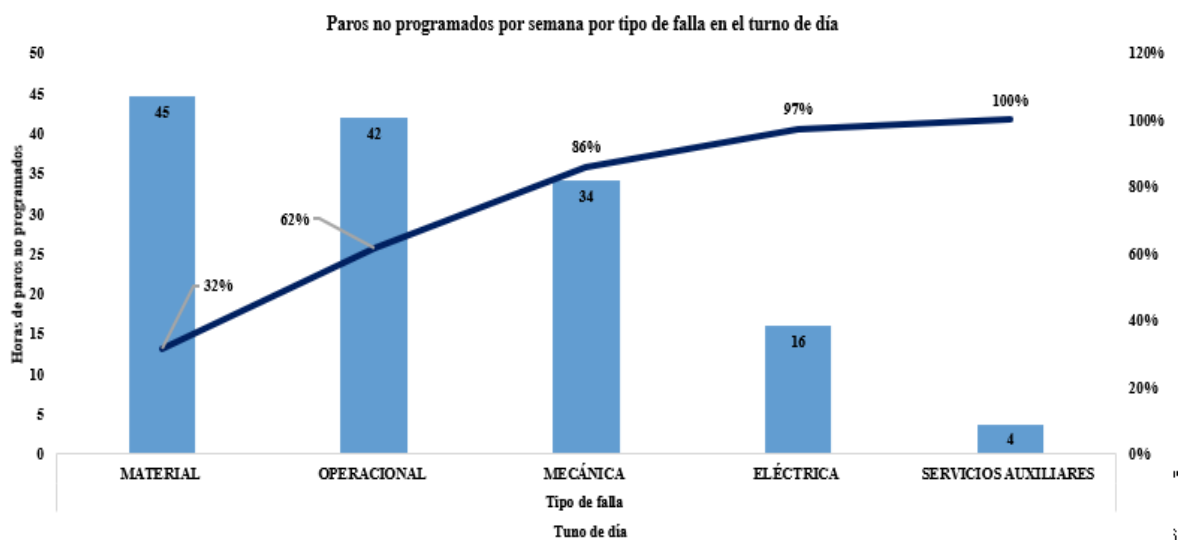
Durante el turno diurno de producción, se identificaron paros no programados recurrentes en la línea litográfica. El análisis tipo Pareto, presentado en la Figura 20, muestra que las fallas materiales y operacionales son responsables de la mayor proporción del tiempo de inactividad no planificada.

En concreto, las fallas materiales generan un promedio de 45 horas de paro por semana, seguidas por las fallas operacionales con 42 horas, representando en conjunto el 62% del tiempo total de paros no programados semanales. Si se incluyen las fallas mecánicas (34 horas), el total acumulado asciende al 86%, lo que confirma que estas tres categorías representan la mayor parte del impacto negativo en la disponibilidad del proceso.

Este comportamiento evidencia una oportunidad clara de mejora, especialmente al enfocarse en las causas principales relacionadas con problemas de materia prima (por ejemplo, láminas deformadas) y condiciones operativas no estandarizadas, que afectan la continuidad del flujo en la línea de barnizado e impresión

Figura 20

Diagrama de Pareto por tipo de falla durante el día.



El problema enfocado basado en 5W+2H queda planteado de la siguiente manera:

“Desde febrero de 2025, durante el turno diurno se han registrado altos tiempos de paro no programado por semana debido a fallas de tipo material y operativas en el área de litografía. Actualmente, se han acumulado 278 horas de paro no programado por semana, superando ampliamente el límite establecido por la empresa, que es de 242 horas semanales”.

2.4 Análisis

En esta fase, se aplican metodologías como el AMEF y la técnica de los 5 porqués para identificar las causas raíz del problema, con el fin de orientar el desarrollo de soluciones efectivas.

2.4.1 AMEF

Con el objetivo de comprender las causas presentes en el proceso litográfico de las láminas de hojalata, se elaboró un catálogo de clasificación de paros no programados, en el cual se identificó el tipo de fallo (Material, Operacional, Mecánico, Eléctrico y de Servicios Auxiliares), así como la máquina y la línea donde ocurría cada incidencia. El análisis se enfocó en el estudio de las fallas de tipo material y operacional. Para la aplicación del AMEF, fue necesario definir parámetros que permitieran evaluar el riesgo asociado a cada causa; dichos parámetros se presentan en la Figura 21.

Figura 21

Criticidad de parámetros.

SEVERIDAD (S)		
Escala	1 (no grave) a 10 (extremadamente grave)	Tiempo
1	Microparos	<5min
3	Efecto menor, sin impacto importante	6min - 20min
4	Impacto moderado, puede afectar rendimiento	21min - 60min
6	Impacto alto, afecta la satisfacción del cliente	61min - 120min
8	Severo, riesgo para la seguridad	121min - 180min
10	Muy severo con fallas críticas	180min
OCURRENCIA (O)		
Escala	1 (muy improbable) a 10 (muy probable)	Tiempo
3	Rara vez ocurre	1 - 2 veces por la semana
6	Puede ocurrir ocasionalmente	3 - 4 veces a la semana
9	Ocorre con frecuencia	4 - 5 veces a la semana
10	Alta frecuencia, casi seguro que ocurra	6 o mas veces a la semana
DETECCIÓN (D)		
Escala	1 (alta capacidad de detección) a 10 (muy baja o nula capacidad de detección)	
3	Altamente probable que se detecte el fallo	
6	Posible detección	
9	Baja probabilidad de detección	
RPN		
RPN < 100	Bajo riesgo (se puede aceptar o revisar)	
RPN 100-200	Riesgo moderado (considerar acciones)	
RPN > 200	Alto riesgo (se requiere acción inmediata)	

A partir de los parámetros se evalúa el modo de falla, efecto de falla y causa de la falla con la finalidad de obtener el RPN (Risk Priority Number) como se muestra en el Apendice 1.

Según la ponderación del RPN obtenida en el análisis AMEF, las causas identificadas fueron clasificadas en niveles de riesgo bajo, medio y alto. Es importante resaltar que no se registraron valores superiores a 200, lo que evidencia la ausencia de riesgos críticos dentro del proceso evaluado (véase Figura 22).

Figura 22

Gráfico del peso de cada causa

NÚMERO	CAUSA DE FALLA	RPN
1	Bultos mal apilados	162
16	Enredo de láminas	150
2	Cambio de formato	150
3	No hay estandarización de velocidad por formato	150
4	Falta de mantenimiento	144
5	Mal ajuste durante cambio de formato	144
6	Falta de limpieza diaria	144
7	Problema de huella de cuchilla	120
8	Desgaste de rodillo de caucho	108
9	Pérdida de presión	108
15	Ajustes inadecuados	108
21	Operador no capacitado	100
10	Desgaste de válvula	80
11	Desgaste de conexiones, mangueras flojas	80
12	Mala maniobra del operador	72
13	Desgaste en accesorios mecánicos	72
14	Desgaste de bandas	72
17	Tamaño de lámina	60
18	Espesor de lámina	60
19	Derrames no detectados ni corregidos a tiempo	60
22	Mantenimiento tardío	60
23	Falta de inspección	60
24	Desgaste de cinta	60
25	Cadena sin elongación adecuada	42

2.4.2 Matriz Impacto-Control

Una vez priorizadas las causas, estas fueron clasificadas considerando que la matriz se divide en cuatro cuadrantes. El análisis se centró en el cuadrante de alto impacto y bajo

control, ya que concentra las causas más factibles de abordar con resultados significativos.

Para esta clasificación, se tomaron en cuenta únicamente aquellas con un RPN superior a 100 (véase Figura 23).

Figura 23

Matriz impacto-dificultad de causas con mayor ponderación.



2.4.3 Plan de Verificación de Causas

A continuación, se desarrolló un plan de verificación orientado a evaluar de forma objetiva el impacto de las causas potenciales previamente priorizadas. Para cada causa se definió una teoría que explicara su relación con el problema y se seleccionaron herramientas estadísticas y de análisis para validarla. El detalle completo del plan se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11

Plan de verificación de causas.

Causa Potencial	Teoría sobre el impacto	¿Cómo verificarlo?
Enredos de láminas	El enredo de láminas ocurre cuando los bultos contienen láminas deformadas —como dobladas, onduladas o combadas— que interfieren con la alineación y el flujo adecuado. Esto suele provocar atascos de láminas, lo que conlleva paros no programados para corregir la situación.	ANOVA (usando el número de línea como variable dependiente), análisis de Pareto y mapas de calor por formato y línea.
Bultos mal apilados	La falta de estandarización de velocidad por formato y los ajustes inadecuados del apilador durante el cambio de tipo de lámina pueden generar bultos mal formados. Esto causa desalineación o enredo de láminas, lo que resulta en atascos y tiempos muertos no planificados para retirar material dañado y restablecer el flujo.	Pareto y diagramas de calor

2.4.3.1 Verificación de Enredos de Láminas. Durante las visitas realizadas a planta en conjunto con los operadores, se identificaron inquietudes relacionadas con los paros no programados. Uno de los principales malestares señalados fue la ocurrencia de enredos de láminas, lo cual genera una cantidad considerable de material desperdiciado y paros no programados.

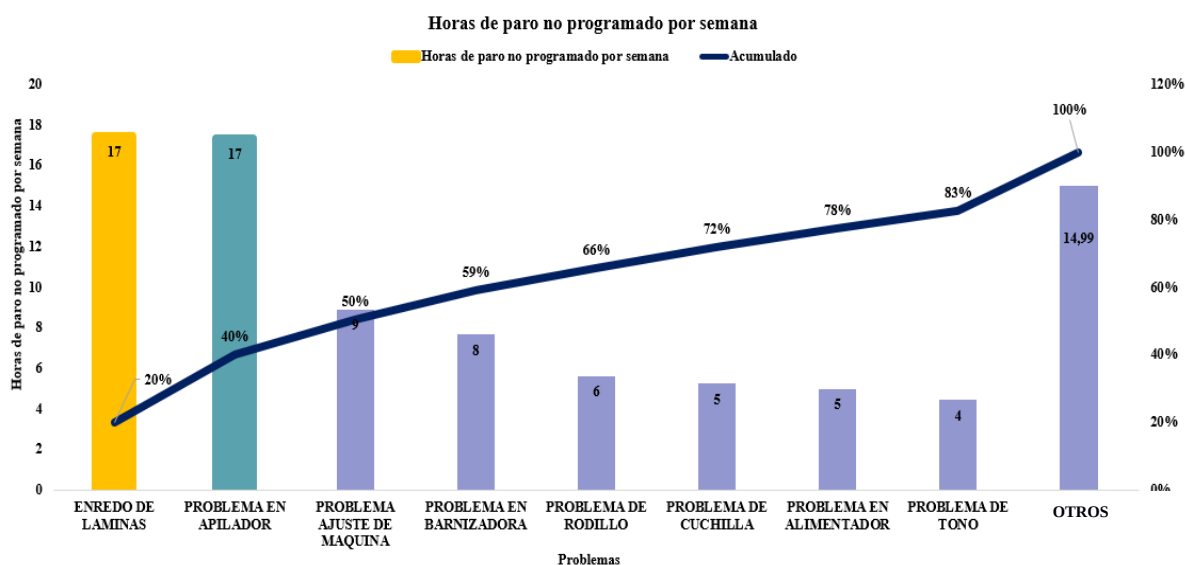
Adicionalmente, en el apilador se detectaron problemas de calibración, que ocasionan que las láminas se golpeen o se doblen, apilando las láminas con estos defectos.

Durante las visitas realizadas a planta y en conjunto con los operadores, se identificaron inquietudes relacionadas con los paros no programados. Uno de los principales malestares señalados fue la ocurrencia de enredos de láminas, lo cual genera una cantidad considerable de material desperdiciado y paros no programados.

Para sustentar que estas fallas representan causas potenciales del problema, se llevó a cabo un análisis de las horas de paro asociadas a cada tipo de falla, específicamente en los dos casos mencionados (ver Figura 24).

Figura 24

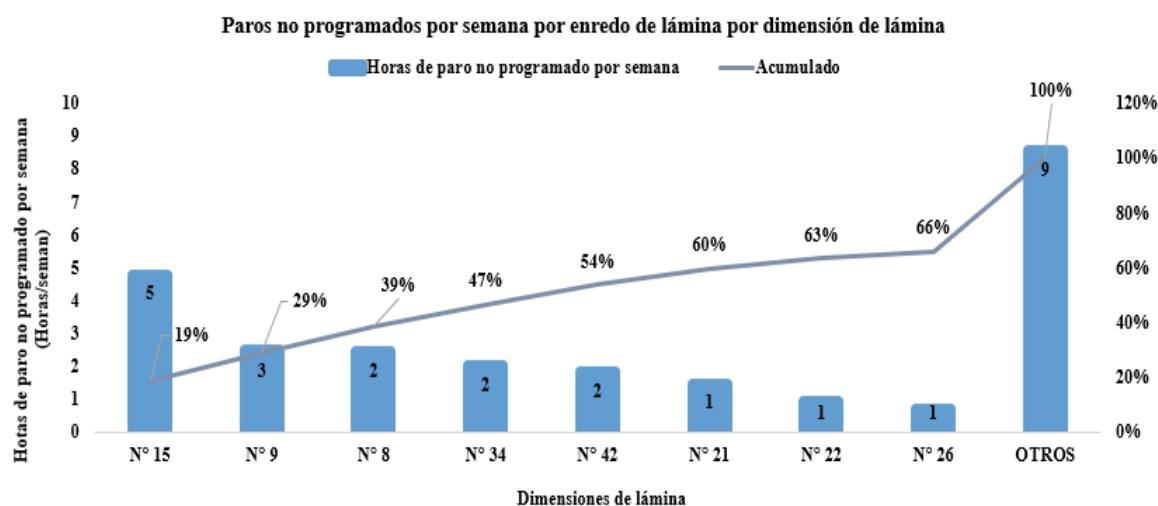
Pareto evidenciando alto tiempo en horas de enredo de láminas y problemas en el apilador.



2.4.3.2 Verificación de no estandarización de velocidad por formato. Se recopiló información sobre los formatos de lámina que presentan mayor incidencia de paros y se analizó mediante un diagrama de Pareto. Este análisis evidenció que aproximadamente el 80% de los problemas se concentran en el 20% de las causas, lo que respalda el principio de Pareto. Por tanto, enfocar los esfuerzos en ese porcentaje reducido de causas permitiría abordar la mayoría de los problemas identificados (ver Figura 25).

Figura 25

Pareto por tipo de formato por enredo de lámina que generan paros no programados.



También se realizó un mapa de calor para poder identificar en qué línea de producción se daban los eventos de enredos de láminas y, además, el tiempo que cada una conlleva ese tipo de formato (véase Figura 26).

Figura 26

Mapa de calor por tipo de formato, línea de producción y tiempo en horas.

Linea operativa								
Dimensiones de formato	LB01	LB03	LB04	LB05	LB06	LBX2	LBX7	Total
N° 15	0,75		0,87	0,59	1,74		1,56	4,84
N° 9	0,15	0,72	0,61	0,36	0,62		0,93	2,66
N° 8	0,16		0,45	0,37	0,48		1,72	2,46
N° 34	0,26		0,28	0,21		0,42	1,28	2,57
N° 42	0,27	0,44	0,22	0,21	0,88		1,15	1,87
N° 21	0,13	0,42	0,33	0,59	0,11	0,18	0,32	1,79
N° 22	0,18	0,50	1,00	0,18	0,45	0,19		1,19
N° 25		0,54			0,17	0,19		0,74
OTROS	1,30	2,52	0,99	1,10	1,30	0,95	1,32	9,48
Total	3,14	4,03	3,85	3,54	3,70	1,54	7,30	27,09

Nota. Los valores de la tabla están en horas por semana

2.4.4 Cinco ¿Por qué?

Para cada causa potencial que evidenció un efecto significativo sobre las variables analizadas, se aplicó la herramienta de los Cinco Porqués con el fin de profundizar en la comprensión de su origen. Este método permitió desglosar de manera sistemática la cadena de eventos y condiciones que conducen al problema, facilitando la identificación de las verdaderas causas raíz. Los hallazgos obtenidos, junto con las causas raíz determinadas para cada caso, se presentan en las Figuras 27 y 28.

Figura 27

Aplicación de 5 ¿Por qué? de los bultos mal apilados.

Ronda 1	Hipótesis	Ronda 2	Hipótesis	Ronda 3	Acción
¿Por qué existen bultos mal apilados?	SI	¿Por qué no hay un ajuste adecuado de los parámetros del apilador según el tipo de formato?	SI	¿Por qué el operario recurre a un proceso de prueba y error para ajustar el apilador?	Analizar y definir los ajustes óptimos en el apilador para reducir la incidencia de láminas golpeadas o dobladas. Establecer un procedimiento estandarizado de ajuste por formato.
Porque no hay un ajuste adecuado de los parámetros del apilador según el tipo de formato		Porque el operario realiza los ajustes del apilador mediante un proceso de prueba y error		Porque no existe una estandarización definida para los ajustes operativos según el tipo de formato , lo que provoca configuraciones inconsistentes y genera paros no programados frecuentes en el proceso	

Figura 28

Aplicación de 5 ¿Por qué? de los enredos de láminas.

Ronda 1	Hipótesis	Ronda 2	Hipótesis	Ronda 3	Hipótesis	Ronda 4	Action
¿Por qué existen enredos de láminas?	SI	¿Por qué se producen atascos o superposiciones en las láminas?	SI	¿Por qué la línea no está configurada para los diferentes formatos?	SI	¿Por qué no está establecido un procedimiento con parámetros específicos para cada formato?	Analizar los formatos de lámina con mayor incidencia de enredos y correlacionar estos eventos con los paros no programados en la línea de producción. Determinar la velocidad óptima de operación para aquellos formatos que presentan mayor frecuencia de este tipo de fallas.
Porque las láminas con deformaciones (como dobleces, ondulaciones o combas) pueden generar atascos o superposiciones en distintos puntos de la línea de producción		Porque la línea no está configurada adecuadamente para trabajar con los diferentes formatos de lámina		Porque no está establecido un procedimiento con parámetros específicos de operación, como la velocidad, para cada formato		Porque existe la percepción de que la máquina debe operar siempre a su velocidad estándar, sin considerar las particularidades de cada formato de lámina. Esto genera inestabilidad en el proceso y aumenta el riesgo de defectos.	

2.4.5 Causa Raíz Identificada

2.4.5.1 Enredos de Láminas. El análisis identificó que los enredos de láminas en la línea de producción ocurren principalmente debido a la falta de estandarización de velocidad por tipo de formato. Actualmente, se opera bajo la creencia de que la línea debe mantenerse a una velocidad estándar, sin considerar las características físicas de cada formato de lámina. Esta práctica genera condiciones inestables, especialmente para aquellos formatos que presentan deformaciones como ondulaciones o dobleces, lo que aumenta el riesgo de atascos o superposiciones en distintos puntos del proceso.

El **análisis** identificó que los enredos de láminas en la línea de producción ocurren principalmente debido a la falta de estandarización de velocidad por tipo de formato. Actualmente, se opera bajo la creencia de que la línea debe mantenerse a una velocidad estándar, sin considerar las características físicas de cada formato de lámina. Esta práctica genera condiciones inestables, especialmente para aquellos formatos que presentan deformaciones como ondulaciones o dobleces, lo que aumenta el riesgo de atascos o superposiciones en distintos puntos del proceso.

Causa raíz: Ausencia de procedimientos definidos con velocidades óptimas por formato de lámina.

2.4.5.2 Bultos mal apilados. En este caso, el problema se origina por la falta de estandarización en los ajustes del apilador según el tipo de formato. Los operarios realizan ajustes de forma empírica, mediante prueba y error, lo que conlleva a la formación de bultos mal apilados, con láminas desalineadas o golpeadas. Estas condiciones no solo afectan la calidad del producto, sino que también aumentan la probabilidad de daños durante el transporte interno y causan atascos posteriores en la línea.

Causa raíz: Ausencia de un procedimiento técnico definido para ajustar el apilador por tipo de formato.

2.5 Mejora

En la fase de Mejora se implementaron soluciones orientadas a reducir las causas raíz de los paros no programados. Las acciones propuestas priorizaron la viabilidad, sostenibilidad y estandarización en el proceso productivo.

2.5.1 Soluciones

Se definió soluciones para cada una de las causas, estas fueron estructuradas como iniciativas prácticas que buscan disminuir la variable de respuesta y fortalecer la continuidad operativa. Su aplicación representa el paso de la teoría a la implementación real en planta. (véase en la Figura 29)

Figura 29

Causas raíz con sus propuestas de solución

Causa	Causa raíz	Soluciones
ENREDOS DE LÁMINAS	Porque no se tiene un procedimiento que establezca una velocidad en las líneas por formato	S1: Determinar la velocidad óptima de operación para aquellos formatos que presentan mayor frecuencia de enredos de láminas.
BULTOS MAL APILADOS	Porque no existe una estandarización definida para los ajustes operativos según el tipo de formato, lo que provoca configuraciones inconsistentes y genera paros no programados frecuentes en el proceso	S2: Establecer una guía de calibración y ajuste por formato en el apilador. S3: Implementar un catálogo de paros no programados, en el cual se detalle el problema según el tipo de falla, máquina y línea de producción. S4: Capacitación dirigido a los operadores y supervisores del área litográfica.

2.5.2 Análisis financiero

El análisis financiero permite evaluar el impacto económico de las soluciones implementadas, determinando la relación entre la inversión requerida y los beneficios obtenidos.

A través de indicadores como ahorro en costos, retorno sobre la inversión y reducción de pérdidas, se cuantifica el valor generado por el proyecto. Se presenta la Figura 30 la implementación, tiempo de desarrollo, recursos humanos involucrados, horas de capacitación requeridas y el costo asociado a cada una.

Figura 30

Estimación del costo de las posibles soluciones

N°	Soluciones	Período de Implementación	Tiempo de Desarrollo	Recursos Humanos	Tiempo de Capacitación (h)	Costo de Capacitación (\$/h)	Costo Total (\$)
S1	Determinar la velocidad óptima de operación para aquellos formatos que presentan mayor frecuencia de enredos de láminas.	Mayo 2025 – Agosto 2025	2 meses	14	2	2,94	\$83
S2	Establecer una guía de calibración y ajuste por formato en el apilador.	Mayo 2025 – Agosto 2025	2 meses	28	2	2,94	\$83
S3	Implementar un catálogo de paros no programados, en el cual se detalle el problema según el tipo de falla, máquina y línea de producción.	Mayo 2025 – Agosto 2025	2 meses	50	1	2,94	\$147
S4	Implementar un programa de capacitación dirigido a los operadores de litográfica.	Mayo 2025 – Agosto 2025	2 meses	50	1	2,94	\$147

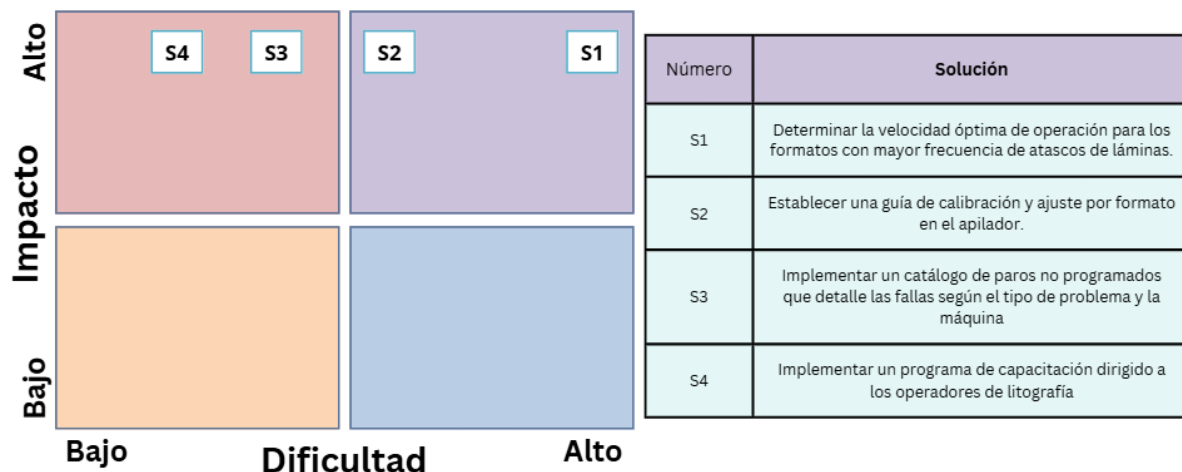
2.5.3 Matriz de priorización Impacto-Esfuerzo

La matriz impacto esfuerzo se empleó como herramienta de priorización para evaluar las soluciones propuestas. Permite identificar aquellas acciones con mayor beneficio para el proceso en relación con el esfuerzo requerido para su implementación.

De esta manera, se facilita la toma de decisiones enfocada en la eficiencia y sostenibilidad de las mejoras, véase en la Figura 31.

Figura 31

Matriz impacto dificultad



2.5.4 Implementación de soluciones

Se procedió a la implementación de las soluciones. Cada solución fue implementada considerando su factibilidad técnica, económica y operativa. A continuación, se presenta el detalle de las soluciones aplicadas, junto con sus implicaciones en el proceso y los beneficios esperados.

2.5.4.1 Determinar la velocidad óptima de operación para aquellos formatos que presentan mayor frecuencia de enredos de láminas. Primero, para establecer la velocidad máxima y mínima que debe de operar cada una de las líneas de producción hay que tener en

consideración los parámetros de calidad que debe cumplir las láminas en el proceso de barnizado o litografiado.

Las láminas son sometidas a un proceso de curado para la correcta aplicación del barniz o impresión, a una temperatura constante de 200 °C durante 13 a 17 minutos, según lo establecido por el departamento de calidad de esta manera se evitan los problemas de sobre curado o por falta de curado.

La velocidad se determina por medio de la fórmula del movimiento rectilíneo uniforme en donde se tuvieron a consideración las siguientes variables:

$$v = \text{velocidad de la línea} \left[\frac{\text{láminas}}{\text{min}} \right]$$

$$x = \text{distancia del horno} [\text{metros}]$$

$$t = \text{tiempo de curado ; entre 13 y 17} [\text{min}]$$

$$k = \text{número de láminas en un metro de distancia dentro del horno ; } 39,36 \left[\frac{\text{láminas}}{\text{metros}} \right]$$

$$v = \frac{x}{t} \rightarrow \text{velocidad de la línea} = \frac{\text{longitud del horno}}{\text{tiempo de curado}}$$

Para poder trabajar en unidades por tiempo, se midió la cantidad de láminas que ocupan en un metro dentro del horno, con este factor poder conocer la cantidad de unidades fabricados por unidad de tiempo.

$$\text{velocidad de la línea} = \frac{\text{longitud del horno} [\text{metros}] * k \left[\frac{\text{láminas}}{\text{metros}} \right]}{\text{tiempo de curado} [\text{min}]}$$

$$\text{velocidad de la línea} = \frac{x [\text{metros}] * 39,36 \left[\frac{\text{láminas}}{\text{metros}} \right]}{t [\text{min}]}$$

Las líneas operativas tienen diferentes longitudes en sus hornos como se evidencia en la Tabla 3, a partir de estas medidas, se elaboró la Tabla 12 que define las velocidades máximas

y mínimas permitidas tomando en consideración los parámetros de calidad. Además, se añade una columna sobre la velocidad constante que actualmente la línea operativa suele utilizar.

Tabla 12

Velocidad permitida por línea operativa

Líneas Operativas	Velocidad Mínima [Láminas/min]	Velocidad Máxima [Láminas/min]	Velocidad Actual [Láminas/min]
LB01	70	90	84
LX02	56	72	62
LB03	63	81	65
LB04	91	118	103
LB05	98	127	106
LB06	77	99	98
LX07	91	118	102

Como segundo paso, se estableció un formato para la toma de resultados en las pruebas piloto, variando la velocidad de acuerdo con el tipo de formato de lámina y línea establecida (véase en la Figura 32)

Figura 32

Formato de recopilación de información

[illegible]

Debido a que la planta realiza la producción de los distintos formatos de acuerdo con la disponibilidad de las líneas operativas, entonces se coordinó con el área de planificación la fecha que se produciría los 3 formatos con más paros no programados.

Con el plan de producción del área litográfica se difundió a todas las áreas relacionadas la realización de estas pruebas y su cooperación para llevarlas a cabo, véase en la Figura 33 el plan de producción.

Figura 33

Plan de producción

ZONA	LÍNEA	DESCRIPCIÓN	OP	VELOCIDAD (U/m)	CANTIDAD TOTAL	FECHA COMIENZO	FECHA FIN
LITOGRAFICA	LBBA004	Formato N°15	900109660	102	15.000	mié, 2/7/25 5:08	2/7/2025 9:47
LITOGRAFICA	LBBA004	Formato N°15	900109659	102	21.000	mié, 2/7/25 9:22	2/7/2025 16:03

2.5.4.2 Establecer una Guía de Calibración y Ajuste por formato en el apilador.

El objetivo de esta solución es establecer una guía de calibración por formato en el apilador de tal manera reducir paros no programados y bultos mal apilados. Primero, se identificó cuáles eran los parámetros que el operador debe de calibrar en el apilador de láminas y posterior levantamiento de parámetros adecuados por línea operativa (Figura 34).

Figura 34

Parámetros del apilador

FORMATO	CALIBRACIÓN	1 VELOCIDAD DE BANDA MESA FLEXIBLE	2 VELOCIDAD DE BANDAS DE APILADOR	3 FRENO DE BANDAS DE APILADOR	4 LATERALES DE APILADOR	5 FRONTAL DE APILADOR	LIMPIEZA DE BANDAS DE MESA FLEXIBLE
E307 AE (42) 0,14mm	1- Cuadradores en los ganchos. 2- Uña de lado de la aleta.	50 - 55	113 - 115	119 - 120	Ajustado al ancho de la lamina (largo de corte)	1 cm menos del largo de la lamina (ancho de bobina)	Cada 4 bultos

Luego, se evidenció de que algunos parámetros no contaban con etiquetas parametrizadas dificultando la estandarización al no poder determinar una cantidad exacta para la guía, véase en la figura 35.

Figura 35

Velocidad de la mesa flexible sin etiquetas



Por lo que se propuso colocar etiquetas para tener visibilidad de los parámetros y estandarizar la calibración de la máquina apiladora. Se capacitó a los operadores de cómo identificar el tipo de formato de lámina de acuerdo con el plan de producción y cuáles son los parámetros que se deben de aplicar.

2.5.4.3 Implementar un Catálogo de Paros no Programados, en el cual se detalle el Problema según el Tipo de Falla, Máquina y Línea de Producción. Se implementó un catálogo de paros no programados para identificar los problemas específicos de los paros no programados en las líneas operativas. Partiendo de la situación en la que el operario seleccionaba el tipo de falla, luego selecciona un nivel general del problema que puede suceder, pero que no abarca las verdaderas causas. Finalmente, existe el espacio en donde el operario escribía un comentario opcional que detalla el problema.

En base a esos comentarios recopilados desde enero hasta abril, se elaboró un catálogo inicial en los cuales se consolida los comentarios repetidos en uno solo, y se clasifican por tipo de máquina, de esta manera se pudo obtener una base de los problemas que

afectan a las líneas operativas, adicional a esto se consultaron los posibles problemas que pueden llegar a ocurrir y que no estuvieron contemplados en la base de datos. Estos fueron validados en planta en conjunto con los operadores, mecánicos y eléctricos.

Asimismo, se realizó un primer acercamiento a los operarios de la importancia de la buena clasificación de los paros y la propuesta del nuevo catálogo de fallos, donde se evidenció la aceptación por este nuevo catálogo de fallas y propuestas para mejorar el catálogo. (véase en la Figura 36).

Figura 36

Primer acercamiento de la implementación del catálogo de los paros no programados



Nota. Primera sesión con los operadores en mayo 2024

Por último, se realizó una validación final del catálogo por parte de la gerencia tanto de operaciones como de mantenimiento, con la aprobación recibida se dio lugar a la subida del nuevo catálogo en el sistema, véase las Figuras 37 y 38 con el catálogo ya actualizado.

Figura 37

Vistazo al catálogo en la línea operativa 5, tipo de falla material

Comentarios

Estado Justificación:

FALLA DE MATERIAL

☐ Crear aviso SAP

Justificar Cancelar

PSP EVENTUAL

PNP EXTERNO

PNP FALLA

FALLA DE MATERIAL

- 2 - 9010128 - ALIMENTADOR DE LAMINAS LTG LB05
- BAR0028 - BARNIZADORA DE LAMINAS LB05
- 1- 9012041- TRANSPORT ENT BULTOS LB05
- VOL0005 - VOLTEADOR BULTO DE LAMINAS LB05
- 9012031 - MESA BARNIZADORA LB05
- 9032916 - MESA ENT DEL HORNO LB05
- 9012009 - MESA SALIDA DEL HORNO LB05

Figura 38

Vistazo de la línea operativa 5, tipo de falla material en el alimentador de láminas

Comentarios

Estado Justificación:

FALLA DE MATERIAL

☐ Crear aviso SAP

Justificar Cancelar

PNP FALLA

FALLA DE MATERIAL

- 2 - 9010128 - ALIMENTADOR DE LAMINAS LTG LB05
 - PROBLEMA CON PALLET EN MAL ESTADO
 - ENTREGA DE BULTO INCORRECTO
 - PROBLEMA CON BULTO BLOQUEADO
 - SOBRECAPACIDAD DE BULTO
 - LAMINAS SOBREDIMENSIONADAS PARA LA LINEA
- BAR0028 - BARNIZADORA DE LAMINAS LB05
- 1- 9012041- TRANSPORT ENT BULTOS LB05
- VOL0005 - VOLTEADOR BULTO DE LAMINAS LB05

Además, se integró una limitación al momento de clasificar las falla mecánica y eléctricas para que los operadores, mecánicos o eléctricos deban escribir en detalle lo ocurrido en los comentarios, como una medida para conocer un poco más del problema ocurrido.

2.5.4.4 Implementar un Sistema de Motivación a los Operadores. Se realizó capacitaciones con la finalidad de crear la cultura en el personal operativo sobre la importancia de clasificar correctamente los paros no programados, y los ajustes en los apiladores ver figura #. reducir el tiempo de respuesta al clasificar y optimizar la continuidad de los procesos productivos.

Alcance:

- Grupo objetivo: 50 operadores del área de litografía.
- Formato: sesiones cortas con material de apoyo visual.
- Metodología: participación mediante ejercicios prácticos y retroalimentación grupal.

Contenido de la capacitación:

Introducción

- a. Clasificación de paros y ajustes en apiladores.
- b. Sistema interno
- c. Uso del catálogo de paros dentro del sistema.

Práctica

- d. Ejercicios aplicados con estudios de casos reales.

Cierre

- e. Retroalimentación individual y grupal.

Este plan de formación permitió reforzar las competencias del personal, estandarizar los criterios de clasificación y mejorar la capacidad de respuesta frente a los paros no programados y los ajustes en el apilador.

Asimismo, se implementó un sistema de recompensas basado en las acciones de los colaboradores, a través del cual obtienen incentivos por alcanzar metas relacionadas con la eficiencia en las líneas, la reducción de costos de no calidad y la correcta clasificación de los

paros no programados. De esta forma, las soluciones planteadas se orientan directamente a fomentar la participación y el cumplimiento de dichos objetivos ver Figura 39.

La solución propuesta para reducir los paros sin clasificar se centra en lograr una clasificación oportuna y precisa, eliminando los errores derivados del olvido del operador y disminuyendo el tiempo de respuesta. Para medir este indicador se utiliza la siguiente fórmula:

$$S/C = \frac{\sum(\text{Tiempo de respuesta})}{\sum(\text{Número de paradas})} = \frac{\sum(\text{Hora de clasificación} - \text{Hora fin de parada})}{\sum(\text{Número de paradas})}$$

El área litográfica cuenta con 50 operadores de los cuales, 7 mejores tendrán la recompensa con menor promedio de tiempo de respuesta de paradas sin clasificar.

Figura 39

Entrenamiento de operadores del correcto uso de la guía de calibración y catálogo de paros no programados



2.6 Plan de Control

Se realizó un plan para el control de las soluciones para determinar en quien recae la responsabilidad de mantener las implementaciones realizadas, su forma de verificar y el propósito de mantener realizar este control, tal como se indica en la Tabla 13

Tabla 13*Plan de control*

Solución	Acción a realizar	Responsable	Propósito	Método de verificación	Frecuencia
S1	Verificar que los operadores cambien la velocidad según el tipo de formato	Jefe y Supervisor de Litografía	Identificar la velocidad de operación de la línea por formato	Registro automático de velocidad de línea	Diario
S2	Verificar que los operadores apliquen la guía de calibración	Jefe y Supervisor de Litografía	Asegurar el apilado correcto y evitar fallas repetitivas	Registro manual de cumplimiento	Diario
S3	Verificar que los operadores clasifiquen correctamente los paros no programados	Jefe y Supervisor de Litografía. Departamento de Mantenimiento	Contar con información confiable para analizar y reducir paros	Registro manual de cumplimiento	Diario
S4	Brindar capacitación continua y motivar a los operadores	Jefe y Supervisor de Litografía	Mantener motivación, compromiso y una cultura de mejora continua	Registro automático	Mensual

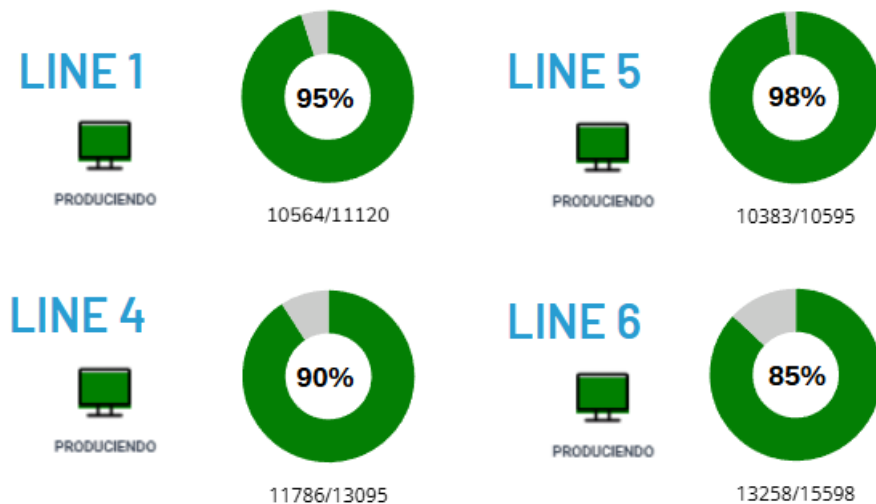
Capítulo 3

3.1 Resultados velocidad óptima de operación

Con la implementación de una velocidad óptima de operación para el formato de lámina que registra la mayor cantidad de paros no programados, se obtiene un incremento del 10 % en la eficiencia de la línea, dado que al disminuir los paros la productividad aumenta. Asimismo, se alcanza una reducción del 57 % en el desperdicio de material, como se muestra en la Figura 40.

Figura 40

Mejora de las líneas productivas analizadas.



3.1.1 Control de la velocidad óptima de operación

El control de la solución implementada se realiza mediante la definición de velocidades óptimas en los formatos con mayor incidencia de paros no programados. El área de Planificación es responsable de establecer la velocidad en el plan de producción, considerando el tiempo total requerido para cumplir con el ciclo.

Por su parte, el área de Litografía verifica que las líneas operen bajo la velocidad definida, asegurando su cumplimiento durante toda la orden de producción. En caso de presentarse inconvenientes externos al proceso, se establece como criterio que la velocidad

únicamente pueda disminuir, garantizando así la estabilidad operativa y la sostenibilidad de la mejora aplicada (véase la Tabla 14).

Tabla 14

Velocidades propuestas por tipo de formato y línea.

Formato de lámina	LB01	LB02	LX03	LB04	LB05	LB06	LX07
N° 15	90	-	-	95	103	98	-
N° 9	90	-	-	95	103	98	-
N° 8	-	-	-	-	-	-	-

Nota. La unidad de velocidad para esta propuesta está en láminas por minuto

3.1.2 Limitaciones velocidad óptima de operación

La producción está condicionada por la disponibilidad de las líneas operativas, lo que limita la versatilidad en la producción de ciertos formatos. Debido a las características técnicas, no todos los formatos pueden procesarse en todas las líneas, generando restricciones productivas y análisis al resto de líneas.

Se evidencia que el formato N.º 8 no se produce durante el último mes por no tener requerimiento de producción, por lo que no existe coordinación en la planificación. Finalmente, se identifica que la fabricación de estos formatos solo se lleva a cabo en las líneas 1, 4, 5 y 6, reduciendo la flexibilidad operativa.

3.2 Resultados de la guía de calibración y ajuste

Mediante la implementación de la guía de calibración se evidencia una reducción significativa en el número de paros no programados del apilador, pasando de 40 paradas por cada 30 pallets de láminas a solo 10 paradas en el mismo volumen de producción. Considerando que cada pallet equivale a un bulto de 1.800 láminas, esta mejora representa una disminución del 75

% en los paros no programados, impactando de manera directa y positiva en la variable de respuesta del proceso.

3.2.1 Control de la guía de calibración y ajuste

Se elabora una lista de comprobación para que los supervisores realicen rondas de verificación, asegurando que los operadores apliquen correctamente los parámetros establecidos (véase la Figura 41).

Figura 41

Lista de aprobación para control de parámetros del apilador

TURNO ☒ A ☐ B FECHA 22/8/2025 Responsable ☐ ANGEL MOYOTA ☐ FIDEL ZAMBRANO

OP	COD MATERIAL	FORMATO	LINEA	HORA DE REVISIÓN	¿CUMPLE CON LOS PARAMETROS?	OBSERVACIONES
					☐ SI ☐ NO	
					☐ SI ☐ NO	
					☐ SI ☐ NO	
					☐ SI ☐ NO	
					☐ SI ☐ NO	
					☐ SI ☐ NO	
					☐ SI ☐ NO	
					☐ SI ☐ NO	
					☐ SI ☐ NO	
					☐ SI ☐ NO	
					☐ SI ☐ NO	
					☐ SI ☐ NO	
					☐ SI ☐ NO	
					☐ SI ☐ NO	
					☐ SI ☐ NO	

3.2.2 Limitaciones de la guía de calibración y ajuste

La implementación de las guías de calibración no se lleva a cabo en todas las líneas de operación debido a las diferencias técnicas entre los equipos. En el caso de la Línea 2, se determina la necesidad de realizar modificaciones en el panel de control para parametrizar adecuadamente la calibración de la máquina. Esto se debe a que el sistema actual emplea potenciómetros que requieren varias vueltas para alcanzar el rango de 0 a 100 %, a diferencia de

los potenciómetros parametrizados que logran este ajuste con medio giro, lo que dificulta la precisión y la rapidez del proceso.

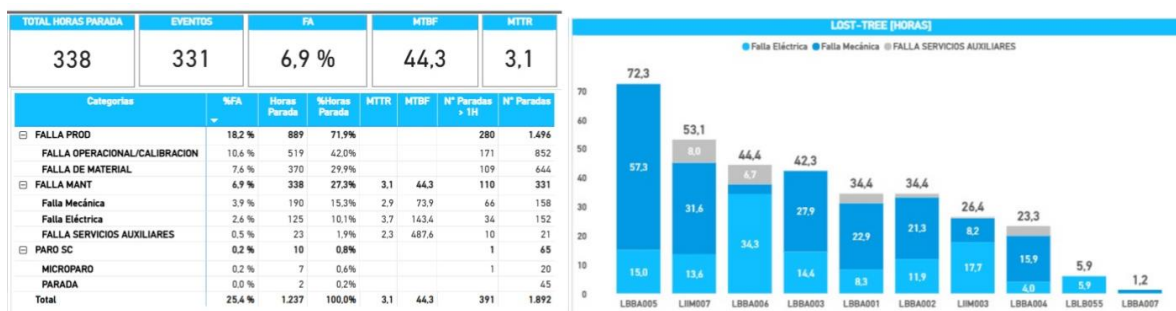
En contraste, la Línea 7 dispone de una máquina más moderna cuyo proceso de calibración es considerablemente más sencillo. Este equipo cuenta con un sistema de calibración automatizada, el cual ajusta de forma automática los parámetros en función de las dimensiones del formato ingresado. Gracias a esta tecnología, se reduce significativamente el tiempo de preparación y mejora la exactitud del ajuste en comparación con las líneas más antiguas.

3.3 Resultados y control de la implementación del catálogo de paros no programados

Con la nueva implementación se establece un control por tipo de falla, máquina y problema específico, eliminando la necesidad de que el operador escriba manualmente la causa del paro. Ahora, únicamente debe seleccionarla dentro del sistema, lo que agiliza el registro y reduce errores de clasificación diaria (véase la Figura 42).

Figura 42

Control de la clasificación de los paros no programados.



3.4 Resultados de la solución y control del programa de capacitación a operadores

La capacitación permite que los operadores adquieran mayor claridad en la clasificación de paros y ajustes, lo que se refleja en una reducción del 30 % en los paros sin clasificar y en una mejora del tiempo de respuesta promedio. En la fase de control se realizan evaluaciones periódicas y sesiones de retroalimentación con el fin de reforzar los conocimientos adquiridos.

Los resultados de estas verificaciones se registran y se comparan con los indicadores de clasificación de paros y tiempos de respuesta, lo que permite identificar desviaciones y tomar acciones correctivas oportunas. De esta manera, se garantiza que la capacitación tenga un impacto sostenido en el tiempo y que los operadores consoliden las buenas prácticas en su labor diaria.

3.5 Resultados de la variable de respuesta

Se realiza una prueba de hipótesis de la variable de respuesta antes y después de la implementación con la prueba Mann-Whitney:

$$\eta_1 = \text{mediana de antes}$$

$$\eta_2 = \text{mediana de despues}$$

Hipótesis nula H_0 : $\eta_1 - \eta_2 = 0$

Hipótesis alternativa H_1 : $\eta_1 - \eta_2 \neq 0$

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Se rechaza la hipótesis nula, con un valor p menor al 5 % como indica la Tabla 15. Por lo tanto, existe suficiente evidencia estadística para concluir que la mediana de los paros no

programados durante el periodo de prueba es significativamente menor que la mediana del periodo histórico.

Tabla 15

Resultados del análisis de la variable de respuesta antes y después de las implementaciones

Valor W	Valor P
354	0,032

Se realiza un análisis de las pruebas contrastando la producción promedio del formato N.º 15, en donde se evidencia que existe una reducción en los paros no programados que tienden a cero minutos, implicando que la producción transcurra de forma continua y sin interrupciones, desencadenando que se necesite menos tiempo para producir la misma cantidad de producto, utilizando una velocidad de la línea operativa mucho menor y que los apiladores estén calibrados correctamente. Esto se observa en la Tabla 16, Tabla 17 y Tabla 18.

Tabla 16

Análisis de resultados en el primer pase en la línea 4

LB04	Cantidad de bultos	Tiempo Real por bulto [min]	Horas en x cantidad de bultos	Velocidad de la línea [Láminas/min]	Tiempo Teórico por bulto [min]	Tiempo de Paro no Programado [min]
ANTES	30,00	30,00	15,00	104,00	17,31	12,69
DESPUES	30,00	20,00	10,00	95,00	18,95	0,00

Tabla 17

Análisis de resultados en el segundo pase en la línea 5

LB05	Cantidad de bultos	Tiempo Real por bulto [min]	Horas en x cantidad de bultos	Velocidad de la línea [Láminas/min]	Tiempo Teórico por bulto [min]	Tiempo de Paro no Programado [min]
ANTES	30,00	20,00	10,00	104,00	17,31	2,69
DESPUES	30,00	18,50	9,25	103,00	17,48	0,00

Tabla 18

Análisis de resultados en el tercer pase en la línea 6

LB06	Cantidad de bultos	Tiempo Real por bulto [min]	Horas en x cantidad de bultos	Velocidad de la línea [Láminas/min]	Tiempo Teórico por bulto [min]	Tiempo de Paro no Programado [min]
ANTES	30,00	22,00	11,00	98,00	18,37	3,63
DESPUES	30,00	20,00	10,00	95,00	18,95	0,00

Considerando la misma cantidad de producción en 30 bultos, en donde cada bulto contiene 1800 láminas.

A partir de estos datos, se elabora la Tabla 19 demostrando el ahorro de tiempo por semana en la producción de los formatos N.º 15 y N.º 9. Debido a que el tiempo para procesar una cierta cantidad de producción ha disminuido, se determina el costo de oportunidad por producir.

Tabla 19

Resultados de mejoras en los formatos analizados

Tipo de Formato	Tiempo Productivo Ahorrado [Horas]	Costo de oportunidad [\$/Semanal]	Costo de oportunidad [\$/Anual]
Nº15	6,75	\$7.977,60	\$414.835,20
Nº9	5,06	\$5.983,20	\$311.126,40
Total	11,81	\$13.960,80	\$725.961,60

3.6 Impacto ambiental

La reducción del tiempo y la cantidad de paros no programados genera una disminución significativa del desperdicio de láminas en la operación de la industria de envases metálicos. Como resultado, se logra una reducción del 57 % en el desperdicio de material, contribuyendo además a minimizar el impacto ambiental asociado a su disposición.

3.7 Impacto social

Al contar con una mayor disponibilidad de producción, se incrementa la cantidad de pases de láminas barnizadas, lo que permite un aumento del 8 % en el porcentaje de cumplimiento del área. Este resultado genera además un incremento del 5 % en el incentivo otorgado a los operadores.

3.8 Impacto económico

La reducción del desperdicio de láminas genera un ahorro económico significativo, evidenciado en una disminución del 59 % de los costos asociados a la no calidad. Este resultado no solo representa una optimización directa de los recursos materiales, sino que también contribuye a mejorar la rentabilidad del proceso al evitar gastos innecesarios en reposición de materia prima.

En la Figura 8 se establecen las métricas para los indicadores ambientales, económicos y sociales, y se usan como referencia para contrastar nuestra implementación como se muestra en la Tabla 18. La métrica establecida se basa en la producción semanal; sin embargo, la medición de nuestras mejoras se basa en dos de los formatos que más paros no programados presentan, como se detalla en la Figura 26.

Por esta razón, se establece desde el marco de cuánto representarían esos dos formatos en la producción semanal, y se evidencia que existe mejora y cumplimiento en las métricas establecidas (véase la Tabla 20).

Tabla 20*Antes y después de las implementaciones*

Indicador	Métrica establecida	Antes de la implementación	Después de la implementación
Económico	< \$14,000 /semana	$\frac{\$1663}{semana}$	$\frac{\$984}{semana}$
Ambiental	< 8,000 láminas /semana	$\frac{1575 \text{ láminas}}{semana}$	$\frac{896 \text{ láminas}}{semana}$
Social	> 5%	87,80%	95,68%

Capítulo 4

4.1 Conclusiones

- Se consigue reducir en un 30 % los paros no programados en el área de litografía, bajando el promedio semanal de 278 a 266 horas. Este resultado no solo representa una mejora operativa, sino que significa recuperar capacidad productiva equivalente a un turno de trabajo, disminuyendo pérdidas y optimizando recursos. En consecuencia, la empresa alcanza mayor eficiencia, menores costos de no calidad y un proceso más sostenible, consolidando un impacto estratégico que fortalece su competitividad en el mercado.
- El análisis mediante AMEF y la técnica de los 5 porqués permite detectar las principales causas que afectan al proceso. Se identifican velocidades inadecuadas de operación según el formato de lámina, la falta de calibración estandarizada en el apilador y la ausencia de registros precisos que limitan la capacidad de análisis. Este diagnóstico es fundamental para direccionar acciones correctivas y priorizar esfuerzos en las áreas de mayor impacto.
- Se ejecutan cuatro estrategias clave: definición de velocidades óptimas, guía de calibración por formato, catálogo de paros no programados y un programa de capacitación con incentivos para los operadores.
- El proyecto permite medir los resultados en tres dimensiones. En el aspecto económico se alcanza una reducción del 59 % en los costos de no calidad, obteniendo un ahorro significativo. En el ámbito ambiental, se reduce el desperdicio de láminas en un 57 %. Finalmente, en el ámbito social, el cumplimiento de láminas barnizadas se incrementa un 8 %, teniendo un aumento del 5 % en el incentivo a los colaboradores. Estos indicadores confirman que la propuesta genera no solo beneficios productivos, sino también impactos positivos en lo económico, ambiental y social, aportando al desarrollo integral y sostenible de la empresa.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda aplicar el mismo procedimiento de análisis de desempeño al resto de los formatos procesados en las líneas operativas, con el fin de garantizar un flujo de producción continuo y sostenible en toda la planta.
- Es necesario establecer de manera formal la velocidad óptima de cada formato de lámina y documentarla en un manual operativo.
- Continuar con la formación periódica de los operadores y reforzar los incentivos permitirá sostener la motivación y compromiso, lo cual es clave para evitar el retroceso de los logros alcanzados.
- El catálogo de paros no programados debe ser escalable a otras áreas de la planta, con el fin de estandarizar la clasificación de fallas y fortalecer el control integral de la producción.

4.3 Referencias

Asana. (14 de Julio de 2025). *The secret to visualizing your business processes [2025]*.

<https://asana.com/es/resources/sipoc-diagram>

FasterCapital. (14 de Enero de 2025). *Técnicas de priorización: Matriz de impacto esfuerzo.*

Equilibrio de impacto y esfuerzo: La matriz que te guía.

<https://fastercapital.com/es/contenido/Tecnicas-de-priorizacion--Matriz-de-impacto-esfuerzo--Equilibrio-de-impacto-y-esfuerzo--la-matriz-que-te-guia.html>

Ingeniería Industrial Online. (13 de Ectubre de 2021). *Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF).*

<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef>

Lean Six Sigma Institute. (14 de Abril de 2025). *Explicación de la metodología DMAIC de Lean Six Sigma.*

<https://leansixsigmainstitute.org/es/explicacion-de-la-metodologia-dmaic-de-lean-six-sigma/>

Learn statistics easily. (Julio de 2025). *Qué es: Prueba de normalidad.*

<https://es.statisticseasily.com/glossario/what-is-normality-test/>

Pyzdek, T., & Keller, P. (2024). *The six sigma handbook: A complete guide for green belts, black belts, and managers at all levels.* New York: McGraw Hill.

Ringover. (16 de Mayo de 2023). *Definición de voice of customer (VoC) y ejemplos de uso.*

<https://www.ringover.es/blog/voice-of-customer>

Six Sigma Online. (14 de Julio de 2023). *Six Sigma Online Certification - Lean Six Sigma training.*

<https://www.sixsigmaonline.org/>

SPC Consulting Group. (2025 de Julio de 2025). *DMAIC: Las 5 fases para la mejora de los procesos*.

<https://spcgroup.com.mx/dmaic-las-5-fases-para-la-mejora-de-los-procesos/>

Statologos. (23 de Enero de 2022). *Análisis de la capacidad del proceso: Definición*.

<https://statologos.com/analisis-de-la-capacidad-del-proceso/>

Apéndice

Anexo 1

AMEF Identificación de Causas Potenciales - Matriz Causa-Efecto

PASO DEL PROCESO	EFFECTO DE FALLA	SEVERIDAD	MODOS DE FALLA	TIPO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	OCURRENCIA	DETECCIÓN	RPN	ACCIONES
Alimentador Mesa barnizadora de láminas Barnizadora láminas Entrada de láminas al horno Salida de horno de láminas Apilador de láminas Transportador del apilador	Enredo de láminas	2	Lámina defectuosa	Falla material	Bultos mal apilados	9	9	162	Inspección previa, guía lateral ajustada, capacitación a operador. Control en el proceso de corte, aplicación de sensores. Controlar velocidad a la salida del horno.
Mesa barnizadora de láminas Salida Del Horno Apilador Transportador Apilador Alimentador	Ajuste de guías	2	Láminas sobredimensionadas para la línea	Falla material	Dimensiones de lámina	10	3	60	Calibraciones antes del ingreso de la lámina Instrucciones visuales estandarizadas
	Falla de guías	4			Mala maniobra del operador Desgaste en accesorios mecánicos	6	3	72	Calibración de salidas según formato, prueba con primeras 5 láminas
Apilador Entrada Del Horno Salida Del Horno Barnizadora Barnizadora Entrada Del Horno Salida Del Horno	Paro no programado Desvío de láminas Daño en el sistema de transmisión Mal apariencia del barniz de la lámina Defectos de calidad en barnizado	6 2	Daño de banda Limpieza de bandas	Falla material Falla Operacional	Desgaste de bandas Rotura de banda por las láminas enredadas Derrames no detectados ni corregidos a tiempo Rotura de banda por las láminas enredadas	4 10	3 3	72 60	Instrucción visual de limpieza por turno Establecer control de calidad de bandas nuevas y vida útil definida Ajuste programado de tensión semanal + Estandarizar materiales de limpieza Análisis causa raíz Limpieza automatizada
Entrada Del Horno Mesa Barnizadora	Ralladuras en láminas Pérdida de calidad en impresión o barniz	2			Operador no capacitado Mantenimiento tardío Falta de inspección Desgaste de cinta	10	3	60	Cambiar de material, no sea cinta Pulir la guías, reemplazo por guías nuevas. Cromar guías
Barnizadora	Paro no programado no hay transferencia de lámina	3	Ajuste de rodillo de caucho	Falla Operacional	Desgaste de rodillo de caucho	6	6	108	Definir vida útil del rodillo, inspección semanal, mantener stock Diámetro mínimo
Horno	Variación en velocidad y sincronización	6	Acertamiento de cadena	Falla Operacional	Cadena sin elongación adecuada	1	7	42	Establecer un control de tensión
Entrada Del Horno	Lámina mal posicionada o no adherida Enredo de láminas	8	Ajuste de válvula de bomba de vacío	Falla Operacional	Desgaste de válvula Desgaste de conexiones, mangueras flojas	2	5	80	Inspección visual de mangueras y conexiones, cambio preventivo cada X horas de uso Limpieza de los componentes de la válvula
Barnizadora	Desincronización de láminas	9	Daño en el sistemas de vacío	Falla material	Pérdida de presión	3	4	108	Inspección eléctrica mensual, mantenimiento preventivo de bomba, alarmas de temperatura
Barnizadora	Aplicación irregular de barniz, rayas en la lámina, retrabajo Defectos de barniz	6	Cambio de cuchilla	Falla Operacional	Problema de huella de cuchilla	4	5	120	Verificación de cuchillas antes del turno Stock pulido de cuchilla y tiempo de reposición
Barnizadora	Enredo de láminas Daño en los sensores	5	Ajuste de velocidad	Falla Operacional	Cambio de formato No hay estandarización de velocidad por formato	5	6	150	Establecer rangos de velocidad estándar, capacitación, validación visual tras ajuste Implementar alarmas por velocidades fuera de rango, procedimiento estandarizado
Barnizadora	Mal recubrimiento de barniz Rayado de lámina	6	Limpieza de rodillo	Falla Operacional	Falta de mantenimiento Enredo de láminas Mal ajuste durante cambio de formato Falta de limpieza diaria	4	6	144	Reemplazo programado Capacitación operativa + guía de ajuste Protocolo de limpieza y control por checklist