

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Incremento de eficiencia de la máquina de empastado de placas en una empresa
productora de baterías para vehículos

INGE-2467

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros Industriales

Presentado por:

María Daniela Letamendi Zevallos

Josias Daniel Chenche Bravo

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

El presente proyecto se lo dedico a mi madre, quien ha estado siempre presente desde mi niñez; a mi padre, por su compromiso con mi educación a pesar de las dificultades económicas; a mis hermanos, por su apoyo constante para que pudiera estudiar; y a Dios, por ser el pilar que me ha dado salud y fortaleza para llegar hasta aquí.

Josias Daniel Chenche Bravo

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a Dios, mis papás, toda mi familia y mi prometido.

María Daniela Letamendi Zevallos

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis profesores y a mi tutora, quienes me brindaron sus conocimientos y guía a lo largo de mi vida universitaria; a mis amigos, por su constante apoyo; y, especialmente, a una persona que me acompañó durante los momentos más importantes de mi carrera y que continúa apoyándome en mi vida profesional.

Josias Daniel Chence Bravo

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a Dios, mis papás, toda mi familia y mi prometido, quienes han sido mi apoyo en el desarrollo de este proyecto, y por ellos he logrado llegar a donde estoy el día de hoy. Gracias por enseñarme a no rendirme y siempre dar lo mejor de mí. Este proyecto es el reflejo de su amor y sus enseñanzas.

María Daniela Letamendi Zevallos

Declaración Expresa

Nosotros Josias Daniel Chenche Bravo y María Daniela Letamendi Zevallos 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, 22 de mayo del 2024.



Josias Daniel Chenche Bravo



María Daniela Letamendi Zevallos

Evaluadores

PhD María Denise Rodríguez Zurita

Profesora de Materia

M.Sc. María Laura Retamales

García

Tutora de proyecto

Resumen

El objetivo del presente proyecto fue incrementar la eficiencia promedio por turno a un 52% en la línea de elaboración de placas de una empresa productora de baterías para vehículos debido a la baja eficiencia presentada desde el 2023, convirtiéndose en el cuello de botella del proceso y causando un incumplimiento del plan de producción de las placas. Para el desarrollo de este proyecto, se utilizó la metodología DMAIC, la cual permitió identificar y eliminar las causas raíz de los problemas enfocados definidos, a través de la actualización de procedimientos, capacitaciones y establecimiento de estándares visuales.

Gracias a la implementación de estas soluciones, se incrementó la eficiencia de la línea en un 6.42% y se redujo la tasa de desperdicio de placas en un 26%. Además, se realizaron 2 capacitaciones en herramientas de mejora continua a los operadores para que puedan aplicarlas posterior a la finalización del proyecto. Y, para finalizar, se asegura el cumplimiento de las soluciones con la definición de distintos procesos de control junto con el Ingeniero de Procesos de la compañía.

Palabras Clave: DMAIC, paradas no planificadas, estándares visuales, capacitación a operadores

Abstract

The objective of this project was to increase the average efficiency per shift to 52% in the plate production line of a vehicle battery production company due to the low efficiency presented since 2023, becoming the bottleneck of the process and causing a breach of the plate production plan. For the development of this project, the DMAIC methodology was used, which allowed identifying and eliminating the root causes of the defined focused problems, through the updating of procedures, training and establishment of visual standards.

Thanks to the implementation of these solutions, the efficiency of the line was increased by 6.42% and the plate scrap rate was reduced by 26%. In addition, 2 trainings were carried out on continuous improvement tools for operators so that they can apply them after the end of the project. And, finally, compliance with the solutions is ensured with the definition of different control processes together with the company's Process Engineer.

Keywords: *DMAIC, unplanned stops, visual standards, operator training*

ABREVIATURAS

DMAIC Define, Measure, Analyze, Improve, Control

OTIDA Operación, Transporte, Inspección, Demora, Almacenamiento

Índice general

Resumen	I
<i>Abstract</i>	II
Abreviaturas	III
Índice general	IV
Índice de figuras	VII
Índice de tablas	IX
Capítulo 1	1
1. Introducción	2
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.....	4
Capítulo 2	7
2. Metodología	8
2.1 Definición	8
2.1.1 SIPOC.....	8
2.1.2 VOC y Diagrama de Afinidad.....	10
2.1.3 Árbol Crítico de la Calidad	12
2.1.4 Selección de la variable de respuesta y serie de tiempo.....	12
2.1.5 Definición del problema.....	14
2.1.6 Triple Línea Base	14
2.2 Medición.....	15
2.2.1 Mapeo del proceso	15

2.2.2	Análisis de valor del proceso	17
2.2.3	Plan de recolección de datos	18
2.2.4	Validación de datos	20
2.2.5	Análisis de estabilidad y capacidad.....	25
2.2.6	Estratificación.....	27
2.2.7	Problema enfocado	32
2.3	Análisis	32
2.3.1	Lluvia de ideas y diagrama de Ishikawa	32
2.3.2	Matriz causa-efecto	34
2.3.3	Matriz impacto-esfuerzo	36
2.3.4	Plan de verificación de causas.....	38
2.3.5	Verificación de Causas.....	39
2.3.6	5 por qué.....	43
2.4	Mejora.....	45
2.4.1	Matriz Impacto-Esfuerzo.....	45
2.4.2	Plan de Implementación	46
2.4.3	Análisis Económico.....	48
2.4.4	Implementación	48
Capítulo 3	59
3.	Resultados y análisis	60
3.1	Control.....	60
3.1.1	Comparación de la eficiencia por turno	60
3.1.2	Capacidad del proceso después de la implementación de las soluciones	61
3.1.3	Indicadores de la Triple Línea Base después de la implementación de soluciones	63
3.1.4	Plan de control.....	67
Capítulo 4	71
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	72
4.1	Conclusiones.....	72

4.2	Recomendaciones	73
	Referencias	74

Índice de figuras

Figura 2.1 Serie de tiempo de eficiencia semanal en la máquina de empastado.....	13
Figura 2.3 Diagrama OTIDA del proceso – parte 1	16
Figura 2.4 Diagrama OTIDA del proceso – parte 2.....	17
Figura 2.5 Diagrama de cajas de valor de producción observado vs valor registrado por el operador.....	20
Figura 2.6 Hipótesis y valor p de prueba t para 2 muestras	21
Figura 2.7 Estadísticas descriptivas de prueba t para 2 muestras.....	21
Figura 2.8 Diagrama de cajas de desperdicio registrado por operadores vs verificado en el ERP22	
Figura 2.9 Hipótesis y valor p de prueba Mann-Whitney	22
Figura 2.10 Diagrama de cajas de tiempo de paradas observadas vs tiempo de paradas de Shoplogix	23
Figura 2.11 Diagrama de Pareto de tiempo de paradas de Shoplogix.....	24
Figura 2.12 Diagrama de Pareto de tiempo de paradas observado	24
Figura 2.13 Análisis de normalidad de eficiencia por turno	25
Figura 2.14 Análisis de estabilidad de eficiencia por turno	26
Figura 2.15 Análisis de capacidad de eficiencia por turno	26
Figura 2.16 Cantidad de placas perdidas por componente.....	27
Figura 2.17 Análisis de varianza de prueba ANOVA.....	28
Figura 2.18 Gráfica de intervalos de tiempo de inactividad por polaridad de placa.....	28
Figura 2.19 Gráfica de intervalos de tiempo de inactividad por turno.....	29
Figura 2.20 Gráfica de intervalos de tiempo de inactividad por operador de mezclado.....	29
Figura 2.21 Gráfica de intervalos de tiempo de inactividad por operador de empastado	30
Figura 2.22 Diagrama de Pareto de tipos de paradas en producción de placas negativas	30
Figura 2.23 Diagrama de Pareto de razones de paradas menores en producción de placas.....	31
Figura 2.24 Focus group con operadores de la línea de empastado.....	33
Figura 2.25 Diagrama de Ishikawa	33
Figura 2.26 Diagrama de Pareto de causas de paradas menores en producción de placas negativas	36
Figura 2.27 Matriz impacto-esfuerzo de causas potenciales.....	37
Figura 2.28 Gráfica de correlación de velocidad vs tiempo de inactividad promedio por enredos en el apilador	39

Figura 2.29 Diagrama de caja de tiempo de inactividad por parada debido a arranque de rejillas por pepas grises	42
Figura 2.30 Diagrama de caja de tiempo de inactividad por parada debido a arranque de rejillas por marcos rotos	42
Figura 2.31 Diagrama de caja de tiempo de inactividad por parada debido a arranque de rejillas por hilos quebradizos	43
Figura 2.32 Escala de color aplicada en los 5 por qué	43
Figura 2.33 Matriz impacto-esfuerzo de soluciones potenciales	46
Figura 2.34 Tiempo promedio de enredo de placas antes y después del experimento	50
Figura 2.35 Plano de raspador para piso de mezcladora	52
Figura 2.36 Plano de raspador para pared de mezcladora.....	52
Figura 2.37 Plano de raspador para eje de mezcladora	53
Figura 2.38 Promedio de ocurrencias por turno de arranques de rejilla por operador.....	54
Figura 2.39 Procedimiento de limpieza de la mezcladora	54
Figura 2.40 Procedimiento de limpieza del cono	55
Figura 2.41 Estándar visual de limpieza de la mezcladora	56
Figura 2.42 Estándar de frecuencia de limpieza de la mezcladora y el cono.....	56
Figura 2.43 Estándares de limpieza en la estación de mezclado.....	57
Figura 2.44 Capacitación a los operadores.....	57
Figura 2.45 Procedimiento de limpieza en la parte central de la tapa de la mezcladora.....	58
Figura 3.1 Hipótesis y valor p de prueba t para 2 muestras	60
Figura 3.2 Estadísticas descriptivas de prueba t para 2 muestras.....	61
Figura 3.3 Eficiencia por turno antes vs después de la implementación de las soluciones	61
Figura 3.4 Análisis de normalidad de eficiencia por turno después de la implementación de las soluciones	62
Figura 3.5 Análisis de estabilidad de eficiencia por turno después de la implementación de las soluciones	62
Figura 3.6 Análisis de capacidad de eficiencia por turno	63
Figura 3.7 Hipótesis y valor p de prueba t para 2 muestras	64
Figura 3.8 Estadísticas descriptivas de prueba t para 2 muestras.....	64
Figura 3.9 Desperdicio de placas antes vs después de la implementación de soluciones.....	65
Figura 3.10 Registro de participación de capacitación sobre el diagrama de Ishikawa.....	66
Figura 3.11 Registro de participación de capacitación sobre la matriz causa-efecto.....	67
Figura 3.12 Control visual por operador	69

Índice de tablas

Tabla 2.1 SIPOC del proceso de empastado	9
Tabla 2.2 Diagrama de afinidad	11
Tabla 2.3 Árbol crítico de la calidad	12
Tabla 2.4 3W+2H para definición del problema.....	14
Tabla 2.5 Resumen del diagrama OTIDA.....	17
Tabla 2.6 Nomenclatura utilizada en el análisis de valor.....	18
Tabla 2.7 Análisis de valor.....	18
Tabla 2.8 Plan de recolección de datos	19
Tabla 2.9 5W+1H para definición de problema enfocado	32
Tabla 2.10 Matriz causa-efecto	34
Tabla 2.11 Escala de calificación para matriz causa-efecto.....	35
Tabla 2.12 Causas potenciales obtenidas del diagrama de Pareto	37
Tabla 2.13 Plan de verificación de causas.....	38
Tabla 2.14 Datos recopilados en segunda prueba para verificación de alta velocidad configurada en la línea	40
Tabla 2.15 Datos recopilados en tercera prueba para verificación de alta velocidad configurada en la línea	41
Tabla 2.16 5 por qué.....	44
Tabla 2.17 Soluciones potenciales	45
Tabla 2.18 Plan de implementación de soluciones	47
Tabla 2.19 Cálculo de costos de implementación	48
Tabla 2.20 Parámetros a variar durante el experimento.....	49
Tabla 2.21 Desarrollo de experimento en la línea.....	49
Tabla 2.22 Variables no controladas durante el experimento	50
Tabla 3.1 Plan de control de verificación de cumplimiento del estándar de limpieza.....	68
Tabla 3.2 Plan de control para verificación de cumplimiento del estándar de limpieza en la mitad de la tapa de la mezcladora	69
Tabla 3.3 Lista de verificación de limpieza de la mezcladora	70
Tabla 3.4 Plan de control para verificación del uso de planos establecidos	70

Capítulo 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

En Ecuador existen más de 2.5 millones de vehículos a gasolina (INEC, 2022). Cada uno de estos vehículos requiere una batería para su funcionamiento, lo que convierte a las baterías de automóviles en un producto de alta demanda en el mercado ecuatoriano. Sin embargo, la diversidad de tipos de vehículos hace que satisfacer la totalidad de la demanda sea un desafío constante para las empresas que las producen.

En ese contexto, mencionan que para una compañía productora de baterías en Ecuador es fundamental mantener la eficiencia en sus procesos, especialmente en el proceso cuello de botella. Es decir, el proceso productivo que opera a menor velocidad y, por lo tanto, limita la eficiencia de toda la línea. Por lo cual, mejorar la eficiencia del proceso cuello de botella es crucial para satisfacer la demanda del mercado de manera oportuna y efectiva.

En consecuencia, el presente proyecto pretende incrementar la eficiencia del proceso cuello de botella en una empresa productora de baterías para vehículos en Ecuador, a través de la implementación de una metodología de mejora continua, con el fin de satisfacer las necesidades del cliente a un menor costo.

1.2 Descripción del Problema

La necesidad identificada es el incremento de la eficiencia de la máquina de empastado de placas en una compañía manufacturera de baterías de vehículos, cuya variable de interés es la eficiencia por turno. Los requerimientos por parte de la organización cliente al finalizar el proyecto son un diagnóstico de árbol de pérdidas con causas específicas validadas y un diseño del plan táctico de implementación de las oportunidades identificadas utilizando herramientas LEAN seleccionadas. Sin embargo, algunas restricciones que se pueden presentar son las siguientes:

- Calidad de semielaborado de rejillas y óxido de plomo para elaborar las placas

- Disponibilidad inmediata de repuestos

También, cabe mencionar sus potenciales obstáculos, como la resistencia al cambio por parte del personal operativo y administrativo, y la polivalencia o conocimiento de operación de la línea de producción.

Desde el 2023, la eficiencia de esta máquina de empastado, considerada el cuello de botella del proceso de producción de baterías, ha venido decayendo, obteniendo un promedio semanal del 45% hasta el mes de mayo del 2024. Esto causa un incumplimiento del plan de producción de las placas, provocando que, asimismo, los procesos subsecuentes se retrasen en su producción, lo cual se deriva en altos costos de producción y un menor margen de utilidad para la compañía.

La organización cliente es una reconocida empresa productora de baterías de vehículos, que se dedica a la producción, distribución, venta y exportación de estas, así como a la importación, distribución y venta de piezas de repuesto y productos de cuidado y limpieza para vehículos. Cuenta con 1 fábrica ubicada en vía Daule y 3 centros de distribución en distintas zonas de la ciudad de Guayaquil. Sus clientes van desde personas naturales, talleres y concesionarios hasta mayoristas y exportadores.

1.3 Justificación del Problema

Al ser la máquina de empastado de placas el cuello de botella del proceso, la producción del producto final dependerá directamente de la capacidad de esta. Por lo tanto, desde la disminución de la capacidad de esta parte del proceso, la capacidad completa de la fábrica se ha visto mermada. Pero así mismo el recuperar la capacidad productiva de la empastadora repercutirá en un aumento de la producción del proceso completo.

Además, se tendrán varios beneficios adicionales, tanto en el ámbito económico, como en el ámbito social y ambiental, los cuales son: reducir los costos de producción a través del incremento del número de placas conformes en la máquina de empastado, motivar a los

trabajadores a contribuir al uso y desarrollo de las herramientas de mejora continua a aplicarse en la línea de producción, y controlar el impacto ambiental a través de la reducción de desperdicio de placas en el proceso.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Incrementar la eficiencia promedio del proceso de empastado de placas desde 44.9% hasta el 52%, a través de la implementación de un proyecto DMAIC, hasta agosto del 2024.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Analizar cada una de las distintas causas de la baja eficiencia de la máquina de empastado para determinar la causa raíz del problema.
2. Aplicar herramientas de mejora continua en la línea de empastado para eliminar las causas raíz encontradas.
3. Implementar procesos de control en la línea de empastado para dar seguimiento al cumplimiento del objetivo a alcanzarse.

1.5 Marco teórico

Lean Manufacturing es una metodología de mejora continua que tiene como objetivo reducir los desperdicios presentes en cualquier proceso para volverlo más eficiente. Se considera desperdicio a todo aquello que no agregue valor al producto o servicio que se ofrece al cliente. Entre estos desperdicios se encuentran los defectos, la sobreproducción, el sobre procesamiento, el inventario, los tiempos de espera, el talento que no se aprovecha en su totalidad, los transportes y movimientos (Pushug et al., 2024).

Otra metodología es Six Sigma que, por otro lado, busca reducir la variabilidad a través de la estructura DMAIC, la cual se enfoca en la detección de problemas con sus respectivas causas raíz mediante el análisis estadístico de datos. Se divide en 5 etapas: definir, medir,

analizar, mejorar y controlar, en las cuales se guiará el desarrollo de este proyecto. A través de esto se busca aumentar la productividad de procesos al reducir la frecuencia y cantidad de defectos (Pushug et al., 2024).

Sin embargo, Jiménez y Amaya (2014) mencionaron que Lean Six Sigma es una metodología de mejora continua que busca integrar Lean Manufacturing y Six Sigma. Esto le permite optimizar los recursos de la empresa al crear una sola estructura base. Además, genera mejoras más integrales y por ende más robustas. Pues desde la parte de Lean Manufacturing se enfoca en la mejora del flujo de los procesos, mientras que desde la parte de Six Sigma plantea una disminución estructurada de los defectos.

Pushug et al. (2024) presentaron un ejemplo de aplicación de Lean Six Sigma en una empresa dedicada a la producción de detergentes para mejorar el indicador del OEE de un 62.42% al 72% en la línea de envasado. A través de la recolección y análisis de información con series de tiempo y un diagrama de Pareto, se detectaron las principales deficiencias del proceso, las cuales son: averías mecánicas en la empacadora, cambio de formato, calibración de la máquina y averías eléctricas en la dosificadora, causando una baja disponibilidad. Se aplicaron distintas herramientas de Lean Manufacturing para reducir tiempos que no agregaban valor al proceso, como la estandarización de parámetros, SMED y Poka-Yoke en los cambios de formato y calibración. Además, se definió un indicador que dio paso a la creación de planes de mantenimiento y limpieza de acuerdo con el valor dado por este para las averías identificadas. Con esto, se logró incrementar el OEE hasta un 77.5%, lo que significó un ahorro mensual de \$71 mil.

A pesar de que el enfoque Lean Six Sigma depende de una cultura de mejora continua que esté presente de manera transversal en la estructura de la empresa, y que esta no siempre existe, especialmente en las empresas PYME; se puede evidenciar que la aplicación de Lean Six Sigma reduce significativamente los costos de producción y aumenta la productividad del

proceso bajo estudio a un reducido costo de implementación de las mejoras diseñadas (Pushug et al., 2024).

La eficiencia de una máquina mide la producción realizada con respecto al tiempo que esta estuvo trabajando. Esta medida es eficiente en evaluar el correcto uso de los recursos de la empresa, ya que indica de manera concreta que tan efectiva fue la máquina en entregar producto terminado con respecto a la expectativa basada en el tiempo de producción (Pushug et al., 2024).

Capítulo 2

2. METODOLOGÍA

DMAIC fue la metodología utilizada para el desarrollo de este proyecto, la cual se divide en 5 etapas: definición, medición, análisis, mejora y control.

2.1 Definición

En la etapa de definición, se estudió el proceso y se levantaron los problemas identificados por el cliente para definir el problema.

2.1.1 SIPOC

Para comenzar a estudiar el proceso de empastado, se levantó información sobre este y se elaboró el SIPOC del proceso de empastado, desde el mezclado hasta el apilado de placas, el cual es el alcance del proyecto, mostrado en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 SIPOC del proceso de empastado

Proveedor	Entradas	Proceso	Salidas	Clientes
Reactor Barton	Óxido de Plomo	MEZCLADO	Pasta	Empastadora
Planta de Ácido	Electrolito 1,400 g/cm ³ (preguntar por el ácido)			
Departamento de Materiales	Fibra, Expansor, Aditivo			
Planificador de la producción	Programa de producción			
Planta de agua desmineralizada	Agua desmineralizada			
Mezcladora	Pasta Pepas grises	EMPASTADO	Cinta de placa húmeda Rejillas arrancadas Desperdicio de pasta	Troqueladora
Rejilladora	Bobina de rejilla Rejillas fuera de especificación			
Planificador de la producción	Programa de producción			
Bodega de materiales	Papel			
Empastadora	Cinta de placa Húmeda	CORTE DE PLACA	Placa húmeda Aguado (agua desmineralizada con pasta) Placa húmeda mal cortada	Horno
Planta de agua desmineralizada	Agua desmineralizada			
Bodega de repuestos	Troquel Bisturí			
Troqueladora	Placa húmeda	SECADO	Placa seca Placas fuera de especificación	Stacker
Planta de gas	Gas			
Horno	Placa seca Placas fuera de especificación	APILADO	Pilos de placa seca Placas fuera de especificación	Cuarto de curado

2.1.2 VOC y Diagrama de Afinidad

Para definir el problema, se utilizó la herramienta Voz del Cliente para identificar los problemas que se buscan reducir o eliminar. Por lo tanto, se entrevistó a cada uno de los clientes del proyecto, entre los que se encuentran: el Gerente de Producción como cliente clave, los Supervisores de Producción, Operadores e Ingeniero de Procesos como clientes internos del área de Producción y el Asistente de Planificación por parte del área de Planificación.

Con estos hallazgos obtenidos, se construyó el Diagrama de Afinidad, en el que se clasificaron en 4 conductores, los cuales son: productividad, bienestar laboral, variación del proceso y calidad del material. Se muestra el resultado en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 *Diagrama de afinidad*

Productividad	Incremento de producto no conforme en la empastadora
	Incremento de averías en las máquinas
	Incremento en cambios de referencia
	Largos tiempos en limpiezas de máquina
	Incremento en paradas menores
	El horno y el apilador limitan la velocidad de la línea
	El plan de producción de placas no es completado
	La máquina empastadora no trabaja a su velocidad nominal
Bienestar laboral	Incremento en desperdicio de placas
	Incremento de sobretiempos
	Decremento en puntuaciones de evaluación de desempeño
	Estrés en los operadores de empastado
	No todo el polvo de plomo es absorbido por el extractor
Variación del proceso	El plomo tapa la zanja detrás del bobinador y el agua se estanca
	Hay charcos de ácido en el piso
	Baja estandarización de las variables de control del proceso a nivel operacional
	Variación en el número de placas producidas por turno
	Arranque de papel
	Hay muchos enredos de placas en el apilador y se rompen
	Rejillas se arrancan cuando son empastadas
Calidad del material	Variación en el troquelado de placas
	Operadores reducen el número de placas por lote
	La mezcla viene con grumos
	Rejillas vienen con asimetrías y rebabas
	Variación en el grosor del óxido
	La pasta viene seca a pesar de que el mínimo de densidad se cumple
	Envejecimiento de las rejillas
	Variación en el peso de las rejillas

2.1.3 Árbol Crítico de la Calidad

Se desarrolló el Árbol Crítico de la Calidad (CTQ, por sus siglas en inglés) para definir los distintos indicadores para cada conductor, de manera que los hallazgos encontrados sean medibles. En la Tabla 2.3, se observa la aplicación de esta herramienta.

Tabla 2.3 *Árbol crítico de la calidad*

VOC	Conductores	CTQ's
Incremento de la eficiencia en la línea de empastado	Productividad	% de desperdicio de placas por turno
		Eficiencia por turno
		Tiempo de paradas programadas por turno
		Tiempo de paradas no programadas por turno
		Cumplimiento diario del programa de empastado
	Bienestar laboral	Sobretiempo total por semana
		Tiempo total de cambios de referencia por turno
		Número de accidentes ocupacionales registrados en el mes
	Variación del proceso	Cantidad de desperdicio de placas por turno
		Tiempo de parada debido a enredos de placas en el apilador por turno
		Cantidad de desperdicio de rejillas por turno
		Tiempo de calibración de troquelado de placas por turno
		Número de placas por unidad de carga
	Calidad del material	Número de rejillas mayores a 15 días por semana
		Kilogramos de desperdicio de mezcla debido a grumos
		Kilogramos de desperdicio de rejilla debido a asimetrías y rebabas

2.1.4 Selección de la variable de respuesta y serie de tiempo

Se seleccionó el indicador de eficiencia por turno como variable de respuesta, ya que en este se refleja la productividad de la máquina en el tiempo en que se encontraba planeada para producir, por lo que se va a ver disminuido en el caso de los desperdicios o de tiempos de inactividad que no fueron considerados en la planificación. Por lo tanto, este indicador se

relaciona directamente con el número de placas conformes producidas y la cantidad de placas esperada en el tiempo planificado, como se observa en la ecuación (2.1).

$$Y = \frac{\text{Número de placas producidas por turno} \left[\frac{\text{placas}}{\text{turno}} \right] - \text{Número de placas no conformes por turno} \left[\frac{\text{placas}}{\text{turno}} \right]}{\text{Tasa de producción esperada} \left[\frac{\text{placas}}{\text{hora}} \right] \times \text{Tiempo planeado de producción por turno} \left[\frac{\text{horas}}{\text{turno}} \right]} \times 100\%$$

(2.1)

Se graficó la eficiencia, la variable de respuesta seleccionada, desde enero 2023 hasta mayo del 2024, calculada con una tasa de producción esperada de 26,880 placas/hora. Se observa en la Figura 2.1 un promedio de 44.9% de eficiencia y un máximo alcanzado del 57.8% en la semana 13 del 2023, por lo que se tiene un GAP total del 12.9%. Con el proyecto, se tiene como objetivo reducir este GAP en un 55%; es decir, incrementar la eficiencia en un 7.1% (hasta el 52%), que es la expectativa del cliente.

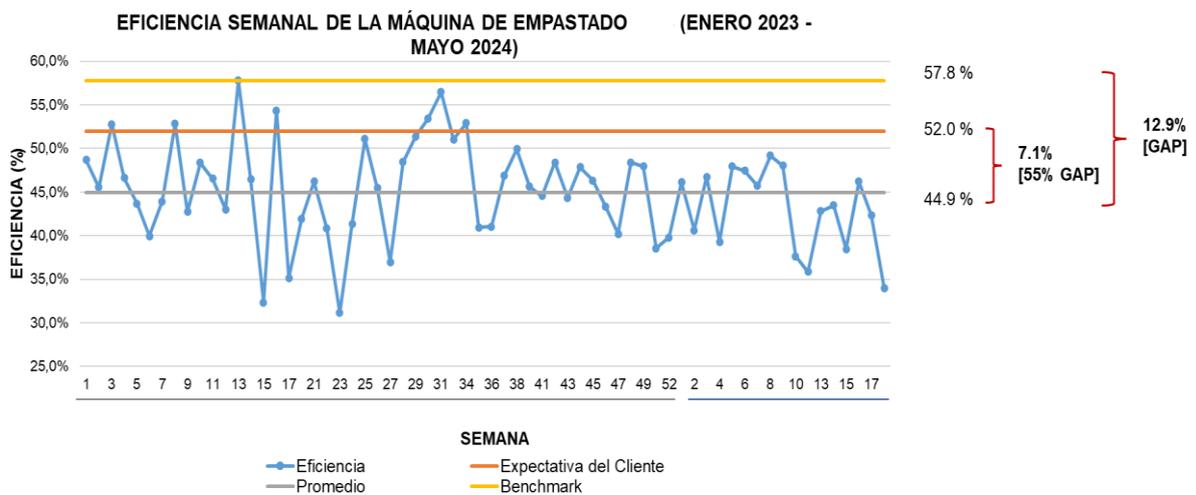


Figura 2.1 Serie de tiempo de eficiencia semanal en la máquina de empastado

2.1.5 Definición del problema

Se aplicó 3W+2H para la definición del problema como se muestra en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 3W+2H para definición del problema

¿Qué?	Baja eficiencia
¿Dónde?	En la línea de empastado de placas
¿Cuándo?	Desde enero 2023
¿Qué tanto?	Una eficiencia promedio de 44.9%
¿Cómo lo sé?	La compañía espera una eficiencia promedio del 52%

El problema definido fue el siguiente: “Baja eficiencia en la línea de empastado de placas desde enero 2023, en el que se espera una eficiencia del 52%, pero solo un 44.9% fue alcanzado en promedio, causando un continuo incumplimiento en la planificación de placas para los procesos subsecuentes.”

2.1.6 Triple Línea Base

Posterior a esto, se definieron los indicadores a mejorarse en el área económica, social y ambiental para la Triple Línea Base, los cuales se muestran en las ecuaciones (2.1), (2.2) y (2.3), respectivamente.

$$\begin{aligned} & \text{Número de capacitaciones en herramientas de mejora continua para los operadores de la línea de Compaste por mes} \\ & = \sum \text{Número de capacitaciones en herramientas de mejora continua dadas a los operadores de la línea de Compaste} \\ & \quad \text{por mes} \end{aligned}$$

(2.2)

$$\text{Tasa de desperdicio por turno} \left[\frac{\text{placas}}{\text{hora}} \right] = \frac{\text{Número de placas fuera de especificaciones producidas por turno} \left[\frac{\text{placas}}{\text{turno}} \right]}{\text{Tiempo planeado de producción por turno} \left[\frac{\text{horas}}{\text{turno}} \right]}$$

(2.3)

2.2 Medición

Durante esta etapa del proyecto, se midió el proceso y se estratificó con los datos recolectados hasta llegar al problema enfocado.

2.2.1 Mapeo del proceso

En la etapa de medición, se comenzó realizando un mapeo del proceso bajo estudio. Se elaboró un diagrama OTIDA, que se puede observar en la Figura 2.2 y Figura 2.3, con su respectivo resumen en la Tabla 2.5. Con su desarrollo, se detectaron las fábricas ocultas del proceso, las cuales se detallan a continuación:

- Agregar más agua desmineralizada cuando las especificaciones de las pruebas de penetración y peso cubo no se cumplen, causando que la pasta resulte seca.
- Mezclar por segunda vez después de agregar más agua desmineralizada.
- Pruebas de peso cubo, penetración y humedad después de mezclar por segunda vez.
- Reajustar las placas al principio del turno cuando no se ejecutó de manera correcta en el turno previo.

Asimismo, se identificó que el cuello de botella es la actividad de apilado de placas debido a que esta determina la velocidad de toda la línea de producción, la cual es de 21 metros/minuto por el incremento de enredos de placas en esta parte del proceso. Sin embargo, la línea puede trabajar hasta a 32 metros/minuto.

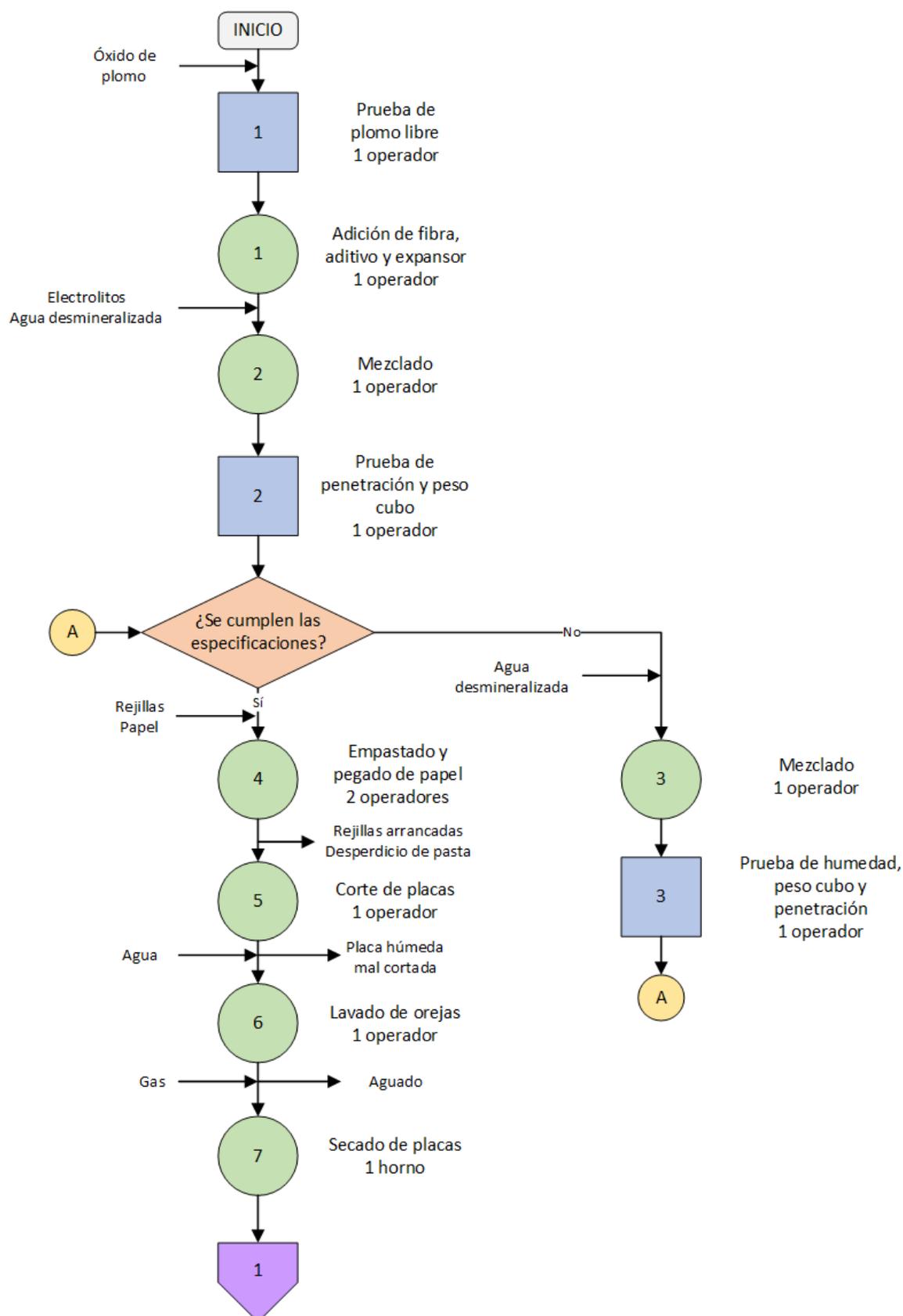


Figura 2.2 Diagrama OTIDA del proceso – parte 1

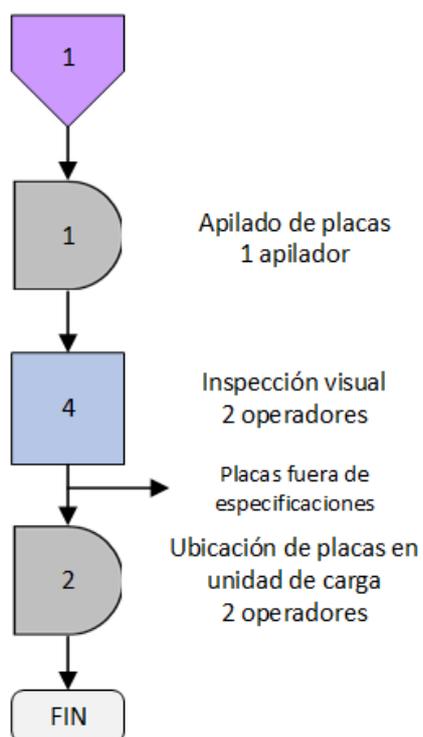


Figura 2.3 Diagrama OTIDA del proceso – parte 2

Tabla 2.5 Resumen del diagrama OTIDA

Operación	7
Inspección	4
Decisión	1
Demora	2
Total	14

2.2.2 Análisis de valor del proceso

A partir del diagrama, se realizó el análisis de valor de cada una de las actividades que lo conforman, utilizando la nomenclatura detallada en la Tabla 2.6. El análisis de valor se encuentra en la Tabla 2.7.

Tabla 2.6 Nomenclatura utilizada en el análisis de valor

AV	Agrega valor
NAVN	No agrega valor, pero es necesario.
NAV	No agrega valor

Tabla 2.7 Análisis de valor

Análisis de Valor	Actividad	Tipo de Actividad
AV	Dosificación de fibra, aditivo y expansor	Operación
	Mezclado	
	Empastado y pegado de papel	
	Troquelado de placas	
	Lavado de orejas	
	Secado de placas	
NAVN	Prueba de plomo libre	Inspección
	Prueba de peso cubo y penetración	
	Inspección visual	
NAV	¿Las especificaciones se cumplen?	Decisión
	Mezclado después de agregar más agua desmineralizada	Operación
	Prueba de peso cubo, penetración y humedad después de agregar más agua desmineralizada	Inspección
	Apilado de placas	Demora
	Acomodo de placas en unidad de carga	

2.2.3 Plan de recolección de datos

Luego del análisis realizado, se definieron las variables para su posterior análisis. El plan de recolección de datos se muestra en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Plan de recolección de datos

¿Qué?						
Variable	Significado operacional	Unidad de medida	Tipo de datos	Tamaño de la muestra	Factores de estratificación	Estado
X1	Número de placas producidas	Unidades/turno	Discreto	No es necesario	Turno, tipo de mezcla, operador de mezcla y operador de máquina pegadora	En proceso
X2	Número de placas producidas fuera de especificaciones	Unidades/turno			Turno, tipo de mezcla, operador de mezcla, operador de pegado y motivo de la no conformidad	
				.		
				.		
				.		
X5	Falta del tiempo	Horas/turno	Continuo	No es necesario	Turno, tipo de mezcla, operador de mezcla, operador de máquina pegadora, tipo de paros, motivo del tiempo de inactividad	En proceso

Se recolectaron los datos históricos del sistema de la compañía Shoplogix desde el 1 de mayo hasta el 5 de junio del 2024 para cada una de las variables mencionadas en el plan de recolección de datos.

2.2.4 Validación de datos

2.2.4.1 Número de placas conformes producidas

Para la validación del número de placas producidas, se compararon los datos de la producción de placas observadas, con un promedio de 5 observaciones por día, con la producción registrada por el operador de la máquina en ese momento que se fue a observar. La Figura 2.4 muestra el diagrama de cajas utilizado y se puede evidenciar que no hay diferencia entre estos datos, los cuales fueron recopilados del 14 al 20 de junio del 2024.

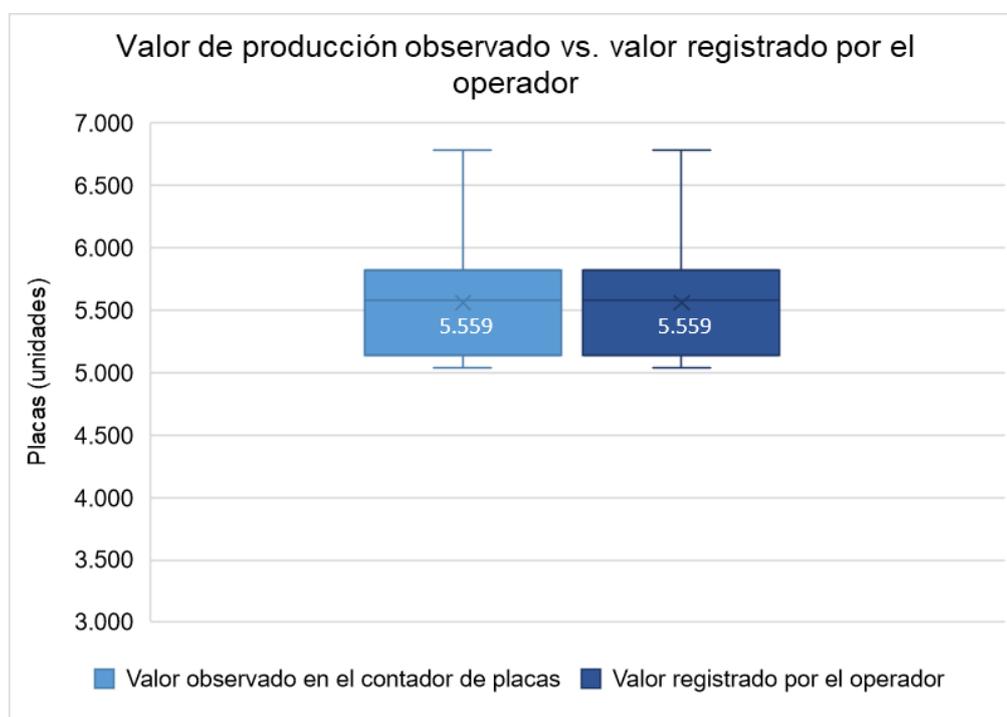


Figura 2.4 Diagrama de cajas de valor de producción observado vs valor registrado por el operador

Los datos del contador son confiables porque están vinculados al sensor del troquel. Para que el contador falle, el troquel tendría que fallar.

2.2.4.2 Número de placas no conformes producidas

Se comprobó la normalidad y homocedasticidad de los datos para número de placas no conformes producidas para, posteriormente, con una prueba t para 2 muestras, evaluar si existe una diferencia significativa entre las 2 medias. Las hipótesis evaluadas se muestran en la Figura 2.5 con el valor p obtenido, el cual fue mayor a 0.1, indicando que se puede aceptar la hipótesis

nula y las medias son iguales. Por lo tanto, se concluyó que los operadores registran correctamente la cantidad de desperdicios.

En la Figura 2.6, se muestran estadísticas descriptivas obtenidas, en las que se puede identificar el número de datos, la media, desviación estándar y error cuadrático para cada grupo. El diagrama de cajas se presenta en la Figura 2.7 con datos recopilados desde el 1 de mayo al 5 de junio del 2024.

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T GL Valor p

-0,75 70 0,455

Figura 2.5 Hipótesis y valor p de prueba t para 2 muestras

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Desperdicio registrado	36	358	264	44
Desperdicio verificado en ERP	36	408	296	49

Figura 2.6 Estadísticas descriptivas de prueba t para 2 muestras

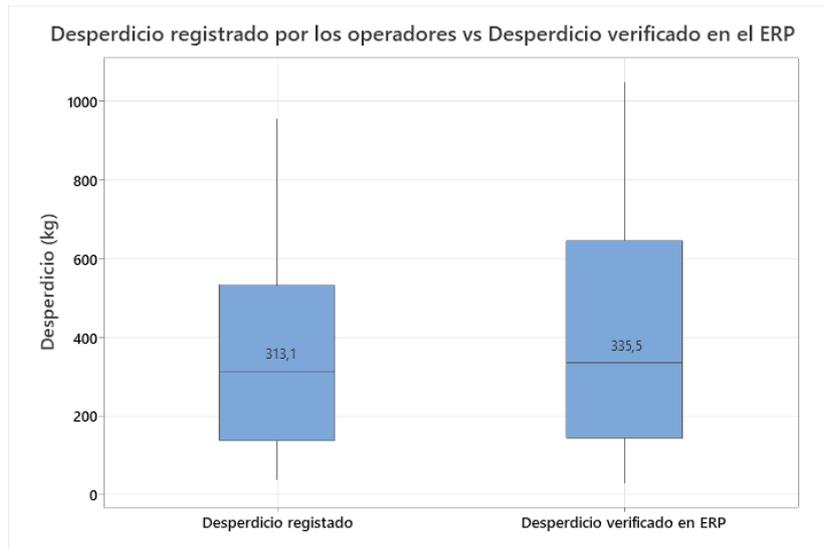


Figura 2.7 Diagrama de cajas de desperdicio registrado por operadores vs verificado en el ERP

2.2.4.3 Tiempo de paradas y tiempo planificado de producción

Con una prueba no paramétrica Mann-Whitney, se evaluaron las siguientes hipótesis con un nivel de significancia del 0.05:

Ho: Las medianas de ambos grupos son iguales

H1: Las medianas de ambos grupos no son iguales

Con un valor p mayor que 0.1 como se observa en la Figura 2.8, se concluyó que las medianas de ambos conjuntos de datos no son diferentes. Por lo tanto, Shoplogix recopila correctamente el tiempo de inactividad planificado y no planificado. Se visualiza el diagrama de cajas en la Figura 2.9 con datos recopilados desde el 14 al 21 de junio del 2024.

Prueba

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

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

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	1272,00	0,733
Ajustado para empates	1272,00	0,733

Figura 2.8 Hipótesis y valor p de prueba Mann-Whitney

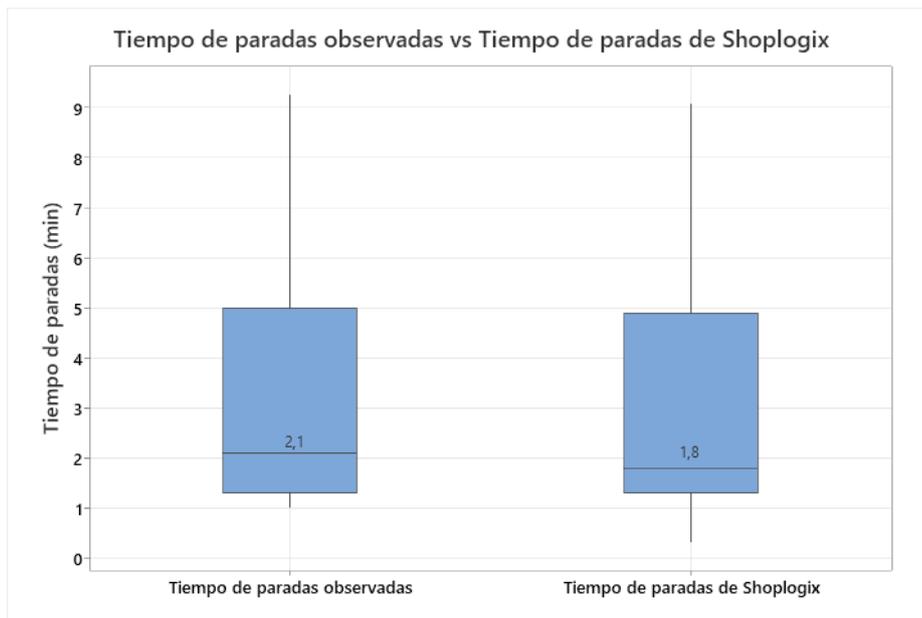


Figura 2.9 Diagrama de cajas de tiempo de paradas observadas vs tiempo de paradas de Shoplogix

Con estos mismos datos, se comparó la asignación de razones a los tiempos de paradas en el sistema, visualizado en la Figura 2.10, con la información recopilada en sitio en estos días, mostrado en la Figura 2.11, en donde se observa la similitud entre los gráficos de Pareto, lo cual indica que los operadores asignan correctamente los motivos de parada en Shoplogix.



Figura 2.10 Diagrama de Pareto de tiempo de paradas de Shoplogix

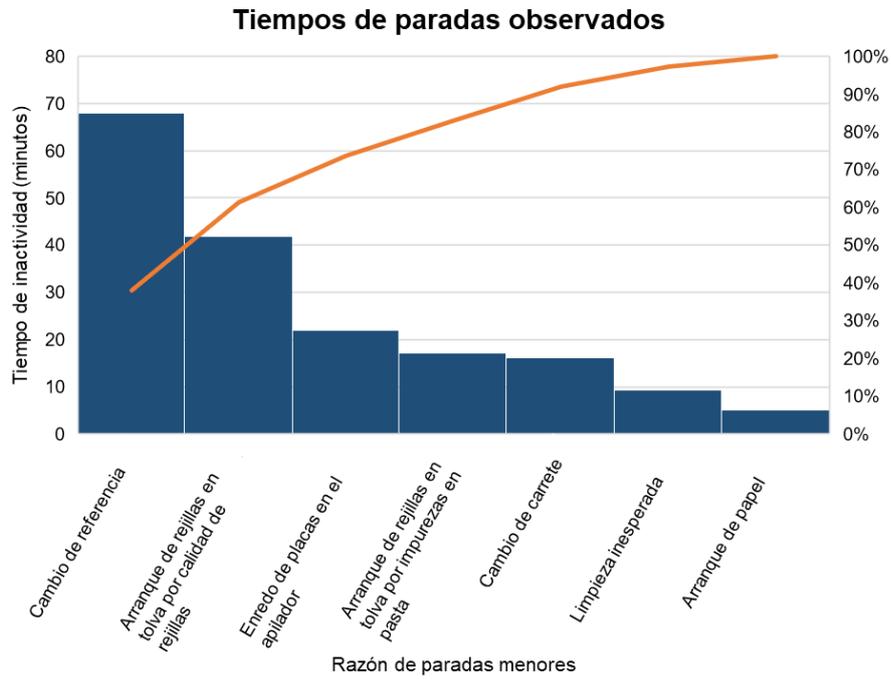


Figura 2.11 Diagrama de Pareto de tiempo de paradas observado

2.2.5 Análisis de estabilidad y capacidad

Primero, se comprobó la normalidad de la eficiencia del proceso por turno con los datos recolectados desde el 1 de mayo al 5 de junio del 2024. Las hipótesis evaluadas fueron las siguientes:

Ho: Los datos siguen una distribución normal

H1: Los datos no siguen una distribución normal

Se aceptó la hipótesis alternativa (H1) por tener un valor p mayor a 0.1 y se concluyó que los datos son normales. En la Figura 2.12, se observa el resultado.

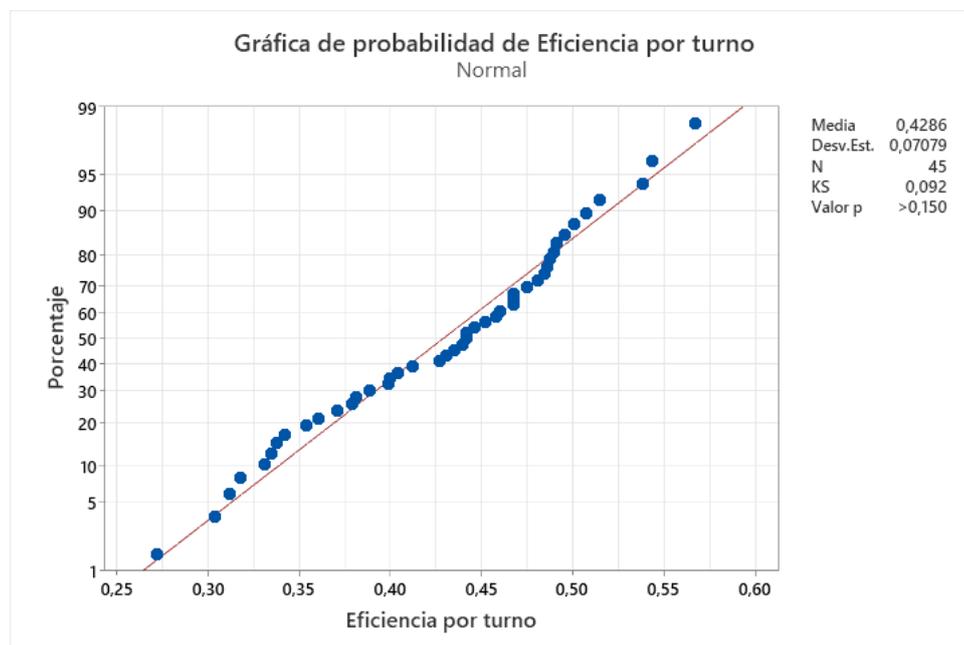


Figura 2.12 Análisis de normalidad de eficiencia por turno

Posterior a esto, se procedió con el análisis de estabilidad, el cual se observa en la Figura 2.13 y se concluyó que el proceso se encuentra bajo control estadístico, ya que no se encontraron datos fuera de los límites de control.

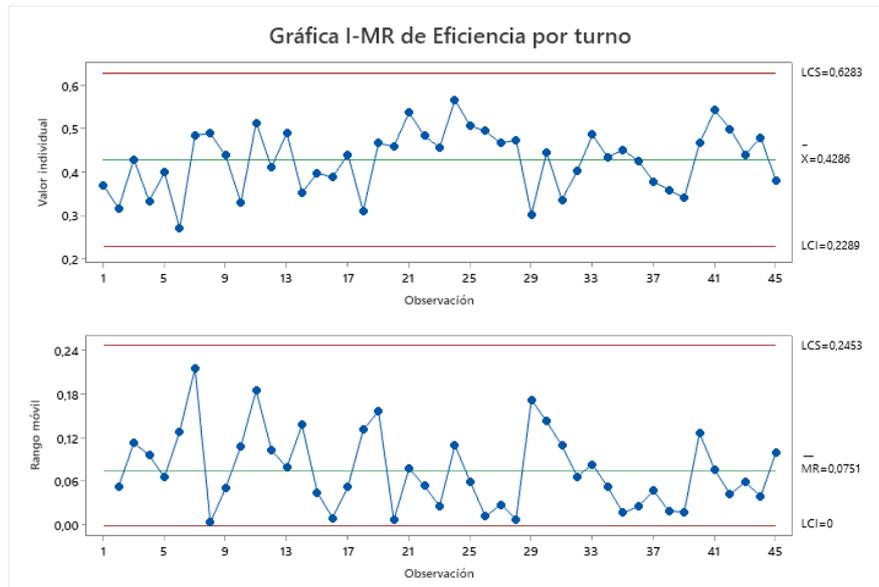


Figura 2.13 Análisis de estabilidad de eficiencia por turno

Se estableció como límite de especificación inferior una eficiencia del 52%, ya que es lo mínimo esperado por el cliente al finalizar este proyecto. Se concluyó que el proceso no es capaz de cumplir con este requerimiento por obtener un Cpk menor a 0 como se observa en la Figura 2.14.

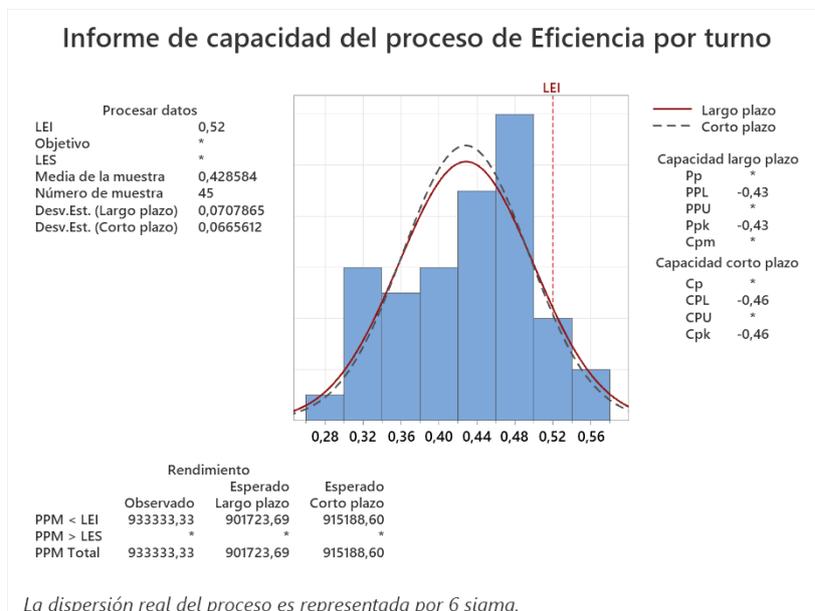


Figura 2.14 Análisis de capacidad de eficiencia por turno

2.2.6 Estratificación

Con los datos del 1 de mayo al 5 de junio del 2024, ya validados, se procedió a estratificar la información con los factores previamente establecidos en el plan de recolección de datos. Se comenzó comparando la cantidad de placas no producidas en los tiempos de paradas registrados en Shoplogix con los kilogramos de desperdicio de placas.

Se puede observar en la Figura 2.15 que los tiempos de paradas influyen significativamente en la cantidad de placas no producidas en este periodo de tiempo, por lo que el enfoque fue en estos tiempos en la máquina de empastado.

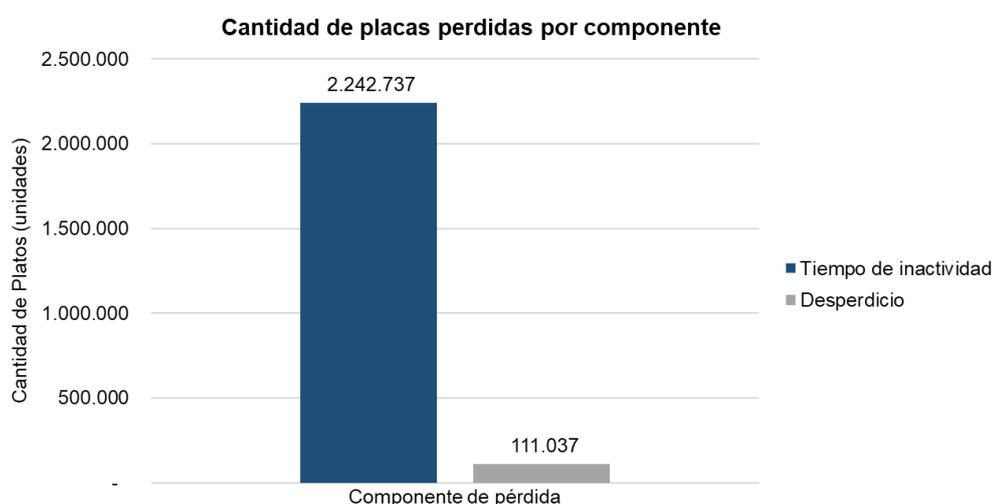


Figura 2.15 Cantidad de placas perdidas por componente

En consiguiente, con la normalidad y homocedasticidad comprobada, con un ANOVA con un nivel de significancia de 0.05 se evaluó si existe diferencia entre el tiempo de paradas registrados con producción de placas positivas con el tiempo con producción de placas negativas. Las hipótesis se detallan a continuación:

Ho: Todas las medias son iguales

H1: No todas las medias son iguales

En la Figura 2.16, se tiene que el valor p es menor a 0.05 y se concluyó que con las placas negativas se presenta significativamente más tiempo de paradas como se observa en la Figura 2.17. Por lo tanto, el enfoque fue en tiempos de paradas con producción de placas negativas.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Polaridad de placa	1	5,789	5,7892	9,17	0,004
Error	58	36,612	0,6312		
Total	59	42,401			

Figura 2.16 Análisis de varianza de prueba ANOVA

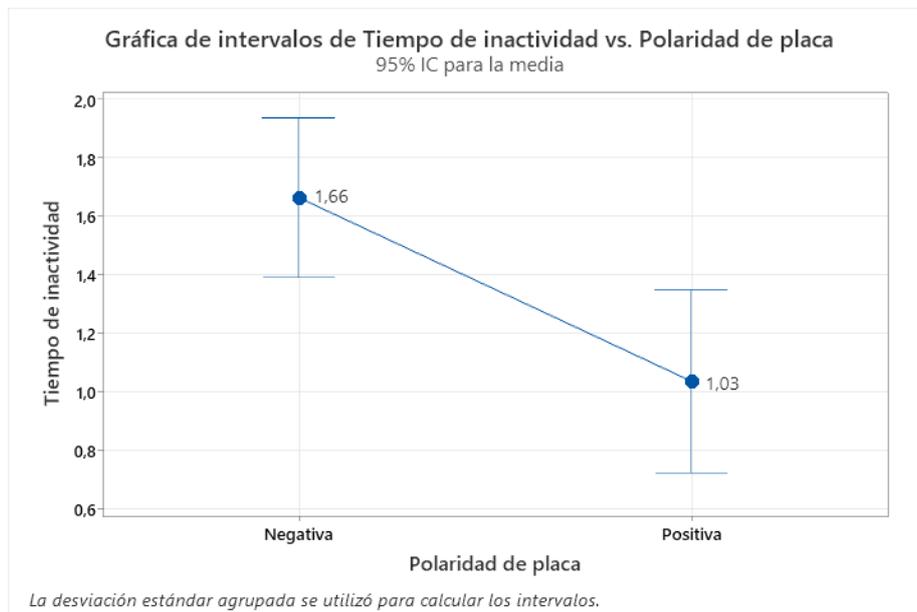


Figura 2.17 Gráfica de intervalos de tiempo de inactividad por polaridad de placa

Con estos tiempos de paradas con producción de placas negativas, se validó si existe diferencia significativa entre los turnos y los distintos operadores, tanto de mezclado como empastado. Se observa en las Figura 2.18, Figura 2.19 y Figura 2.20 que la diferencia es insignificante.

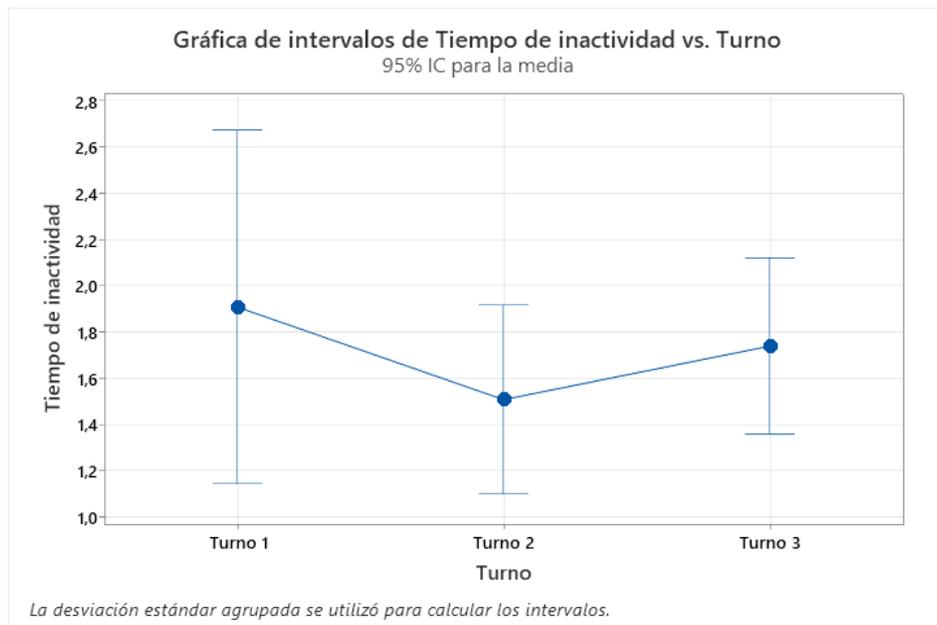


Figura 2.18 Gráfica de intervalos de tiempo de inactividad por turno

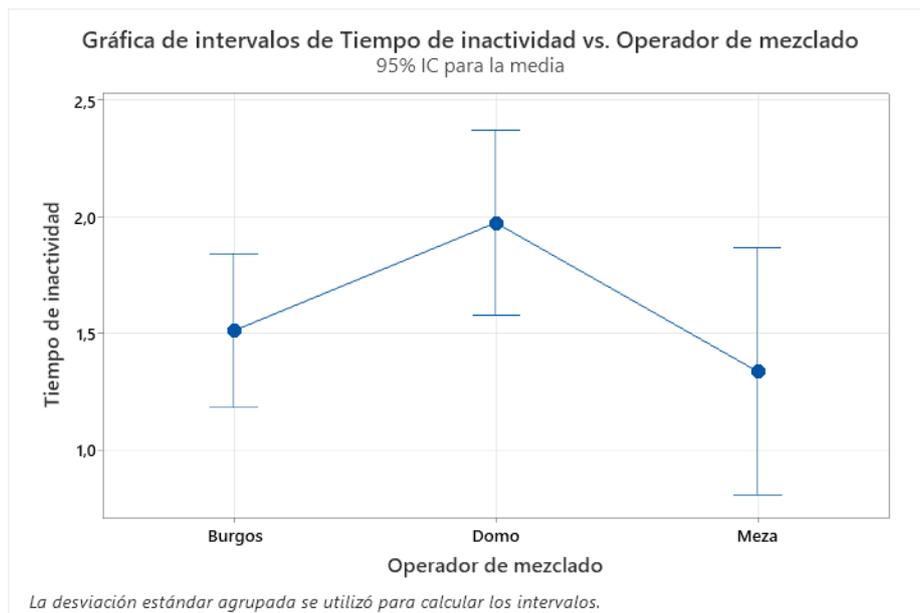


Figura 2.19 Gráfica de intervalos de tiempo de inactividad por operador de mezclado

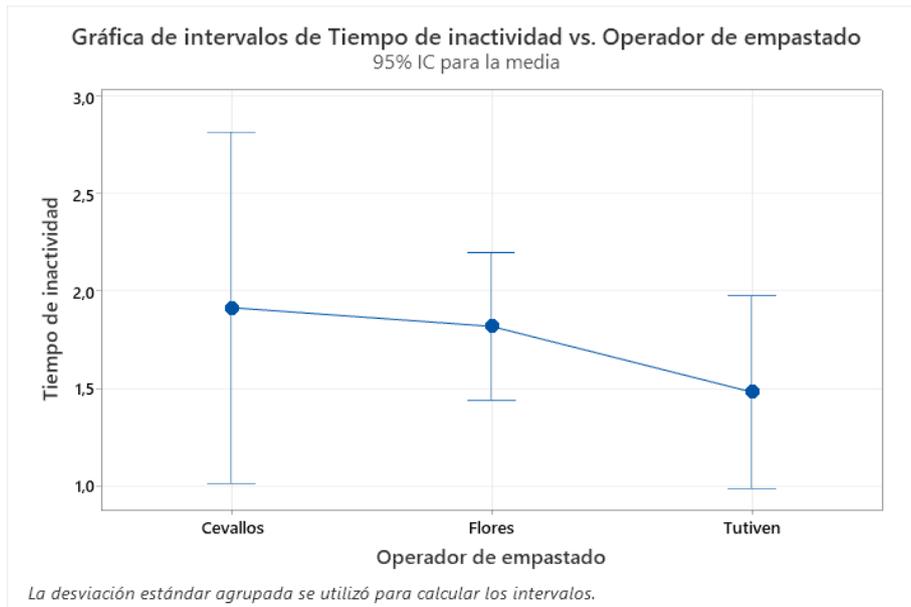


Figura 2.20 Gráfica de intervalos de tiempo de inactividad por operador de empastado

Se clasificó este tiempo en los tipos de paradas que maneja la compañía y en el diagrama de Pareto de la Figura 2.21 se visualiza que las paradas menores representan el 80% de mi tiempo total de paradas.

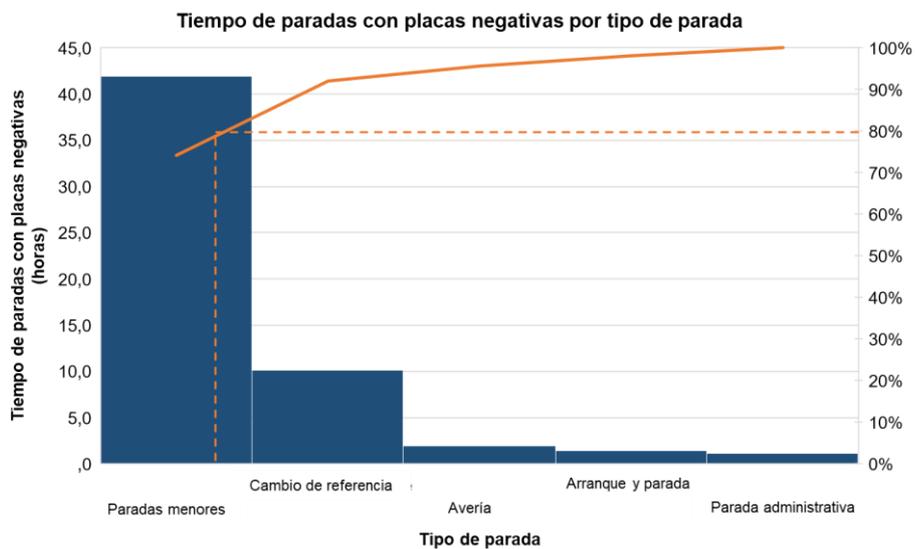


Figura 2.21 Diagrama de Pareto de tipos de paradas en producción de placas negativas

Como último paso, se identificaron las razones de paradas menores que representan el 80% del tiempo total de estas paradas con un segundo diagrama de Pareto en la Figura 2.22, las cuales son:

- Arranque de rejillas en tolva por impurezas en la pasta
- Enredos de placas en el apilador
- Arranque de rejillas en tolva por calidad de rejillas
- Cambio de carrete

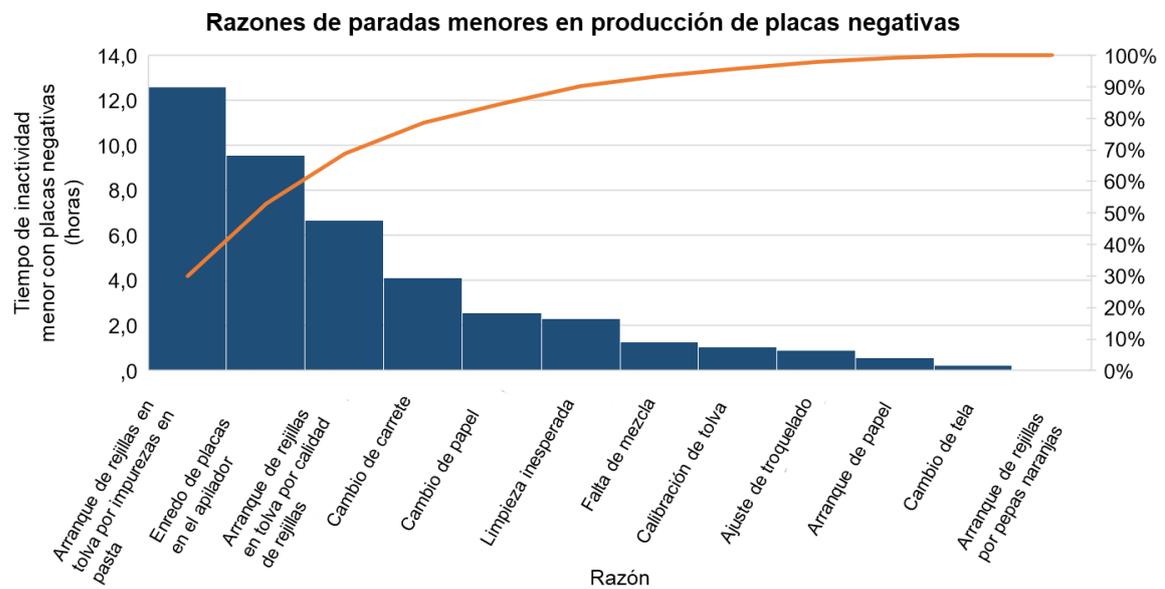


Figura 2.22 Diagrama de Pareto de razones de paradas menores en producción de placas

2.2.7 Problema enfocado

Se aplicó 5W+1H para definir un problema enfocado para cada una de las razones principales de paradas menores identificadas, como se observa en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9 5W+1H para definición de problema enfocado

5W+1H	Y1	Y2	Y3	Y4
¿Qué?	Paradas por arranque de rejillas por impurezas en pasta	Paradas por enredos de placas en el apilador	Paradas por arranque de rejillas por calidad de rejillas	Paradas por cambio de carrete
¿Cómo?	En la producción de placas negativas			
¿Cuál?	12.6 horas	9.6 horas	6.7 horas	4.1 horas
¿Cuándo?	Desde el 1 de mayo hasta el 5 de junio del 2024			
¿Dónde?	En la línea de empastado			
¿Quién?	El problema no depende de la habilidad del operador			

2.3 Análisis

En esta etapa de análisis, con el apoyo de los operadores se llegaron a las causas potenciales de los problemas enfocados identificados, se verificaron y se encontraron las causas raíz.

2.3.1 Lluvia de ideas y diagrama de Ishikawa

Se realizó un focus group con los operadores de la línea de empastado, entre los que se encontraban operadores de mezclado y empastado, operadores del apilador y el ajustador, como se observa en la Figura 2.23, donde se obtuvieron posibles causas del problema enfocado.



Figura 2.23 Focus group con operadores de la línea de empastado

Esta información se utilizó para la construcción del diagrama de Ishikawa, en el que se clasificaron las ideas en 4 grupos: material, mano de obra, método y máquina. El diagrama se puede observar en la Figura 2.24.

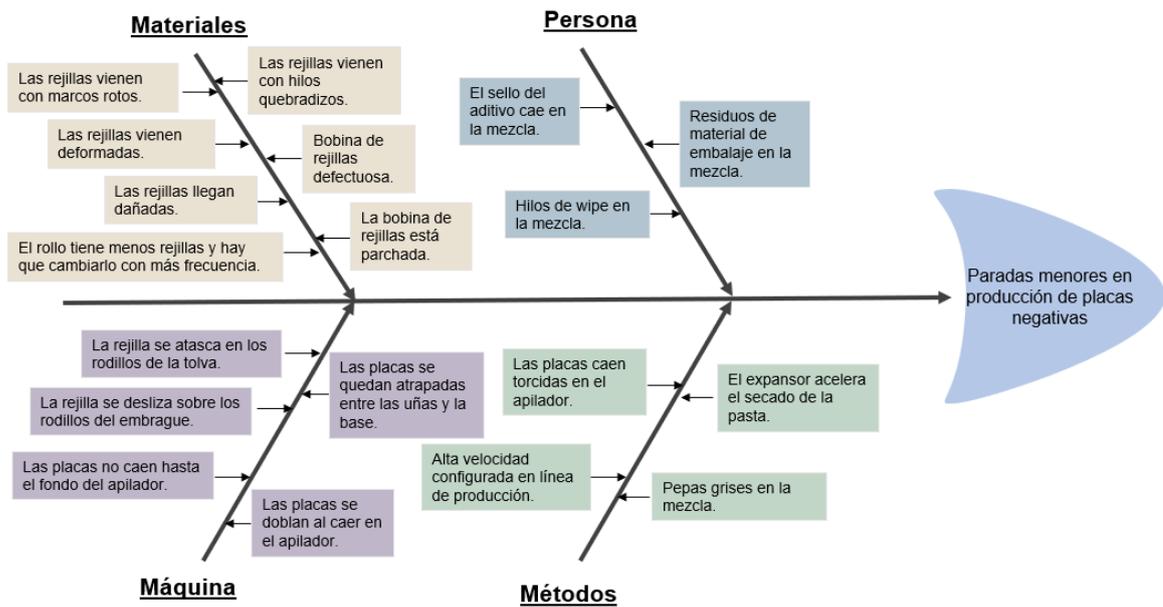


Figura 2.24 Diagrama de Ishikawa

2.3.2 Matriz causa-efecto

Con las causas plasmadas en el diagrama de Ishikawa, se realizó la matriz causa-efecto visualizada en la Tabla 2.10, en la que el principal operador de mezclado, empastado y el ajustador calificaron cada causa según la escala mostrada en la Tabla 2.11.

Tabla 2.10 *Matriz causa-efecto*

Razón de Paradas Menores	N°	Causa	Y1=Tiempo de parada menor con placas negativas			SUMA
			Ajustador	Operador de empastado	Operador de mezcla	
Placas enredadas en el apilador	1	Las placas caen torcidas en el apilador.	3	9	3	15
	2	Las placas no caen hasta el fondo del apilador.	9	9	9	27
	3	Las placas se quedan atrapadas entre las uñas y la base.	9	9	9	27
	4	Las placas se doblan al caer en el apilador.	3	3	3	9
	5	Alta velocidad configurada en línea de producción.	9	9	3	21
Arranque de rejillas en tolva por calidad de rejillas	6	Las rejillas vienen con marcos rotos.	9	1	9	19
	7	Las rejillas vienen con hilos quebradizos.	9	9	9	27
	8	Las rejillas vienen deformadas.	3	9	9	21
	9	Las rejillas llegan dañadas.	3	1	9	13
	10	La bobina de rejillas está parchada.	3	9	9	21
	11	La rejilla se atasca en los rodillos de la tolva.	3	1	9	13
Arranque de rejillas en tolva por impurezas en pasta	12	La rejilla se desliza sobre los rodillos del embrague.	3	1	3	7
	13	Pepas grises en la mezcla.	9	9	9	27
	14	Residuos de material de embalaje en la mezcla.	1	1	3	5
	15	Hilos de wipe en la mezcla.	1	1	3	5
	16	El sello del aditivo cae en la mezcla.	1	1	1	3
Cambio de carrete	17	El expansor acelera el secado de la pasta.	0	1	0	1
	18	Bobina de rejillas defectuosa.	3	1	3	7
	19	El rollo tiene menos rejillas y hay que cambiarlo con más frecuencia.	3	1	3	7

Tabla 2.11 *Escala de calificación para matriz causa-efecto*

Calificación	Descripción
0	No correlación
1	Baja correlación
3	Moderada correlación
9	Fuerte correlación

Se realizó un diagrama de Pareto, el cual se encuentra en la Figura 2.25, con los resultados de la matriz, y se obtuvieron las causas que representan el 80% del impacto total en las paradas menores con producción de placas negativas, según los operadores. Estas causas fueron las siguientes:

- Las placas no caen hasta el fondo del apilador
- Rejillas se atascan entre las uñas y la base
- Hilos quebradizos
- Pepas grises en la mezcla
- Alta velocidad configurada en la línea de producción
- Rejillas pandeadas
- Rollo remendado
- Marcos rotos
- Las placas caen torcidas en el apilador
- Rejillas golpeadas

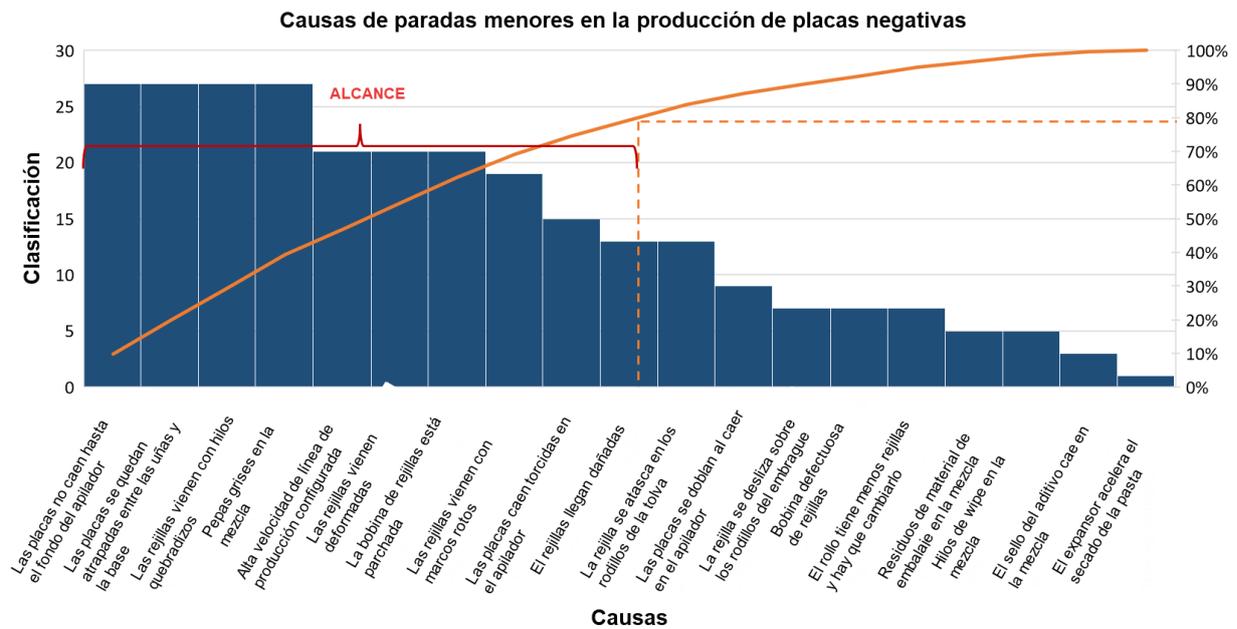


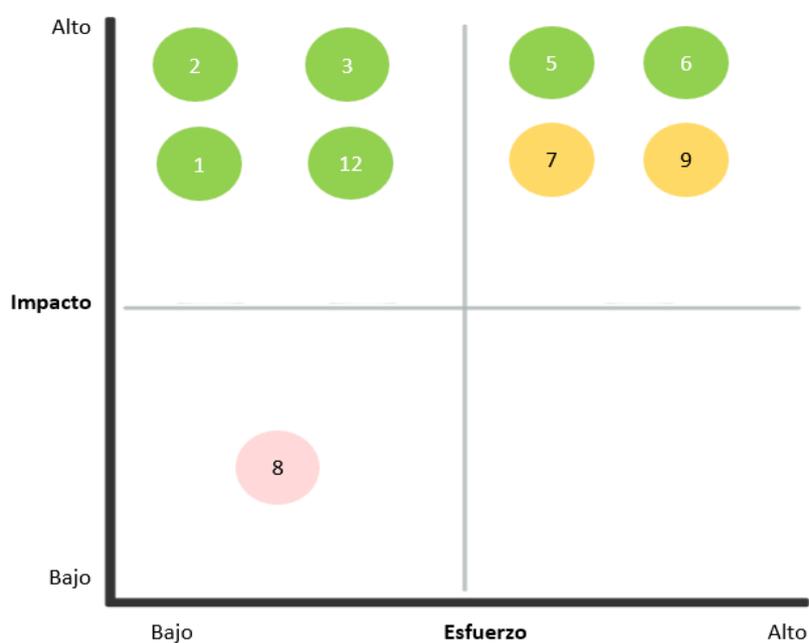
Figura 2.25 Diagrama de Pareto de causas de paradas menores en producción de placas negativas

2.3.3 Matriz impacto-esfuerzo

Se construyó la matriz impacto-esfuerzo con las causas potenciales obtenidas del diagrama de Pareto visualizadas en la Figura 2.26, con ayuda del Ingeniero de Procesos. Se escogieron todas las causas que se clasificaron como alto impacto y bajo esfuerzo, así como también 2 causas definidas como alto impacto y bajo esfuerzo, las cuales son: las rejillas vienen con marcos rotos e hilos quebradizos. Se observa el resultado de la matriz en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12 Causas potenciales obtenidas del diagrama de Pareto

Razón de Paradas Menores	N°	Causas potenciales
Placas enredadas en el apilador	1	Las placas caen torcidas en el apilador
	2	Las placas no caen hasta el fondo del apilador
	3	Las placas se quedan atrapadas entre las uñas y la base.
	5	Alta velocidad de línea de producción configurada
	6	Las rejillas vienen con marcos rotos
Desgarro de rejillas en tolva por calidad de rejillas	7	Las rejillas vienen con hilos quebradizos
	8	Las rejillas vienen deformadas
	9	Las rejillas llegan dañadas
	10	La bobina de rejillas viene parchada
Desgarro de rejillas en tolva por impurezas en pasta	13	Pepas grises en la mezcla

**Figura 2.26** Matriz impacto-esfuerzo de causas potenciales

2.3.4 Plan de verificación de causas

En el plan de verificación de causas, se definió la teoría del impacto y cómo se verificó cada causa potencial obtenida después de la aplicación de la matriz impacto-esfuerzo. El resultado se presenta en la Tabla 2.13.

Tabla 2.13 Plan de verificación de causas

Razón de paradas menores	Nº	Causas potenciales	Teoría del impacto	¿Cómo verificarlo?	Estado
Enredos de placas en el apilador	2	Las placas no caen al fondo del apilador.	Las placas, al no llegar al fondo, hacen que las siguientes caigan progresivamente más alejadas de las uñas y queden inestables, provocando un choque con las placas entrantes y enredos.	Verificación en sitio y recolección de datos de Shoplogix del 17 de junio al 3 de julio de 2024, para análisis con estadística descriptiva y aplicación de diagrama de caja.	No significativo
	3	Las placas se atascan entre las uñas y la base del apilador.	Cuando la placa se atasca, provoca que las siguientes placas no caigan con regularidad y se enreden, provocando paradas de línea.	Verificación en sitio y recolección de datos de Shoplogix a partir del 17 de junio de 2024, para análisis con estadística descriptiva y aplicación de gráfico de correlación entre velocidad y tiempo de inactividad promedio.	No significativo
	4	Alta velocidad configurada en la línea de producción.	Una alta velocidad en la línea hace que las placas, debido a la corta distancia entre ellas, choquen y se enreden entre sí, lo que resulta en un aumento del tiempo de inactividad.	Verificación en sitio y recolección de datos de Shoplogix a partir del 17 de junio de 2024, para análisis con estadística descriptiva y aplicación de gráfico de correlación entre velocidad y tiempo de inactividad promedio.	... Significativo
.					
.					
.					
Arranque de la rejilla en la tolva debido a la calidad de la rejilla	6	Las rejillas vienen con marcos rotos.	Las rejillas con marcos rotos e hilos quebradizos no pueden soportar las fuerzas de tensión a las que están sometidas durante el empastado, lo que provoca que se rompan y provoquen paradas en la línea.	Verificación en sitio y recolección de datos históricos de Shoplogix del 1 de mayo al 3 de julio de 2024, para análisis con estadística descriptiva y aplicación de diagrama de caja.	Significativo
	7	Las rejillas vienen con hilos quebradizos.			Significativo

2.3.5 Verificación de Causas

2.3.5.1 Alta velocidad configurada en la línea

Para la validación de esta causa, se utilizaron 15 datos recopilados desde el 17 de junio hasta el 3 de julio para obtener la correlación mostrada en la Figura 2.27. El coeficiente de correlación de Pearson es 0.173, por lo que no se pudo concluir que la causa es significativa. Por esta razón, se procedió a realizar una segunda prueba.

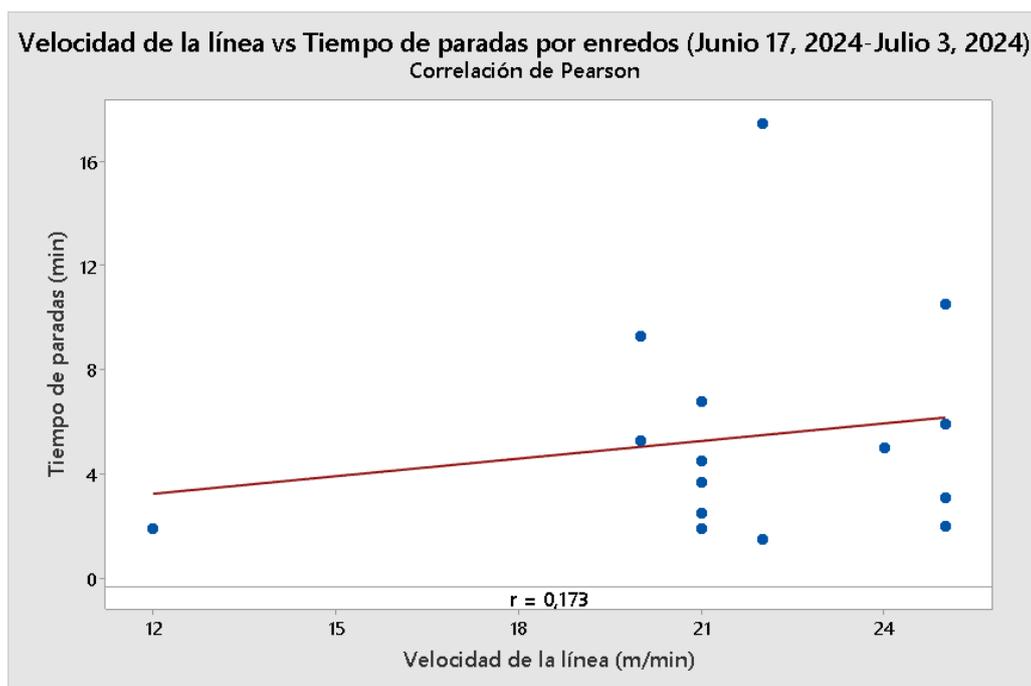


Figura 2.27 Gráfica de correlación de velocidad vs tiempo de inactividad promedio por enredos en el apilador

A lo largo del turno 2, se registró la velocidad de la línea cada hora para confirmar que las placas no caen correctamente cuando se aumenta la velocidad de la línea no es una causa significativa de que las placas se enreden en el apilador, manteniendo la temperatura del horno a 205 °C. En la Tabla 2.14, se observan los resultados de esta prueba.

Tabla 2.14 Datos recopilados en segunda prueba para verificación de alta velocidad configurada en la línea

Hora inicio	Hora fin	Velocidad de la línea (m/min)	Velocidad cadena de rechazo (r/min)	Velocidad cadena del apilador (r/min)	Paradas observadas
9:20	10:00	23	975	1025	0
10:00	10:28	25	1025	1075	0
10:28	11:01	24	1000	1050	0
11:01	12:15	25	1025	1075	0
12:15	13:07	24	1000	1050	0
13:07	14:52	Mantenimiento preventivo y cambio de referencia			
14:52	15:47	26	1050	1100	0
15:47	16:00	27	1075	1125	0

La velocidad se incrementó de 23 a 27 metros/minuto, y no se evidenciaron enredos en el apilador. Por lo tanto, se decidió realizar otra prueba produciendo con una velocidad mayor para concluir si esta causa es significativa o no.

Esta tercera verificación se realizó a lo largo del turno 2, manteniendo la temperatura del horno a 205°C. La velocidad se incrementó hasta 28 metros/minuto y hubo 2 enredos en el apilador. Así, la velocidad se redujo de nuevo a 27 metros/minuto y fue entonces cuando se produjo un enredo a esta velocidad. Por lo tanto, se concluyó que el hecho de que las placas no caigan correctamente cuando se aumenta la velocidad de la línea es una causa significativa. Los datos obtenidos se detallan en la Tabla 2.15.

Tabla 2.15 Datos recopilados en tercera prueba para verificación de alta velocidad configurada en la línea

Hora inicio	Hora fin	Velocidad de la línea (m/min)	Velocidad cadena de rechazo (r/min)	Velocidad cadena del apilador (r/min)	Paradas observadas	Observación
10:53	11:05	24	1000	1050	0	-
11:05	11:58	26	1050	2000	0	-
11:58	12:03	26	1050	2000	0	-
12:03	12:24	27	1075	2025	0	-
12:24	12:30	27	1075	2025	0	-
12:30	12:37	28	2000	2050	0	-
12:37	12:42	28	2000	2050	1	Placas colisionan
12:42	12:43	28	2000	2050	1	Las placas se chocan con las uñas
12:43	14:16	27	1075	2025	1	Las placas se chocan con las uñas

2.3.5.2 Arranque de rejillas debido a pepas grises

En la línea de empastado, se tuvo una media de 0,45 horas de inactividad por turno, con una desviación estándar de 0,43 horas, provocadas por el arranque de la rejilla debido a las pepas grises. Por tanto, se concluyó que la causa es significativa. Se consideran los datos de 14 turnos en el diagrama de caja visualizado en la Figura 2.28.

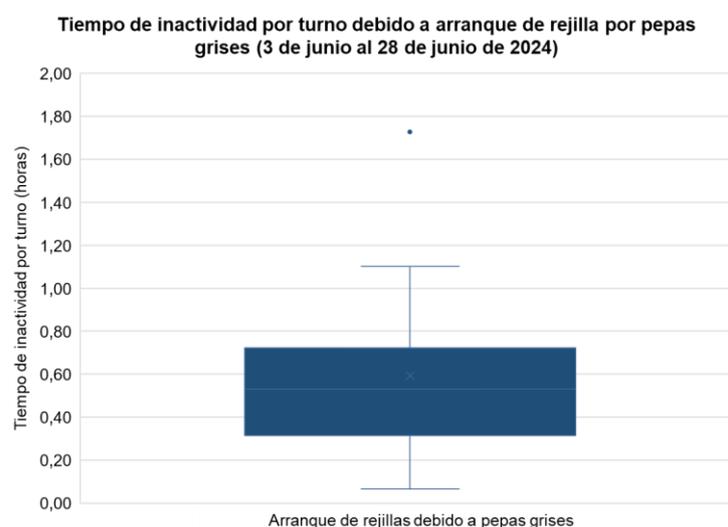


Figura 2.28 Diagrama de caja de tiempo de inactividad por parada debido a arranque de rejillas por pepas grises

2.3.5.3 Rejillas vienen con marcos rotos

Durante el periodo analizado se obtuvo un promedio de 8,50 minutos por cada tiempo de inactividad por arranque de rejillas por marcos rotos y una desviación estándar de 4,98 minutos, con un total de 10 observaciones. Por tanto, se concluyó que la causa es significativa. El diagrama de cajas se muestra en la Figura 2.29.

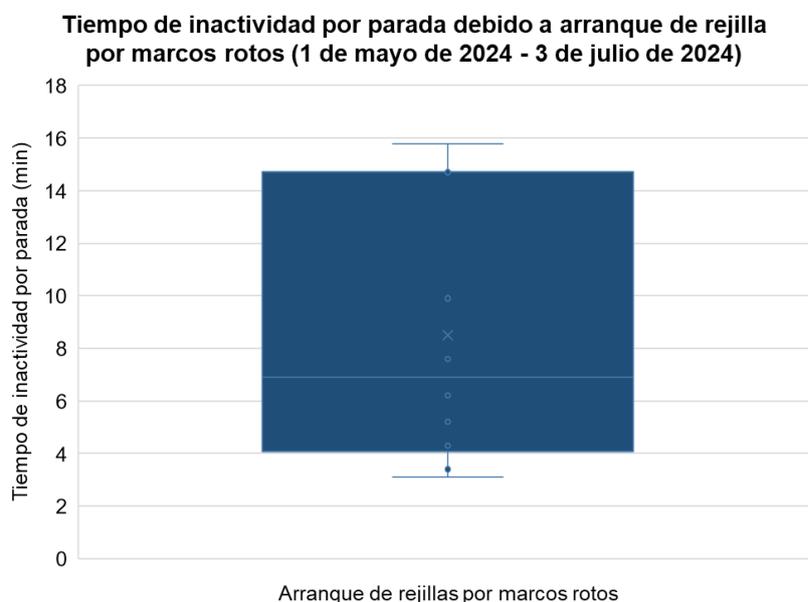


Figura 2.29 Diagrama de caja de tiempo de inactividad por parada debido a arranque de rejillas por marcos rotos

2.3.5.4 Rejillas vienen con hilos quebradizos

Durante el periodo analizado se obtuvo un promedio de 6,54 minutos por cada tiempo de inactividad provocado por arranque de rejillas por hilos quebradizos y una desviación estándar de 5,30 minutos, con un total de 26 observaciones, las cuales se utilizaron para el diagrama de cajas que se presenta en la Figura 2.30. Por tanto, se concluyó que la causa es significativa.

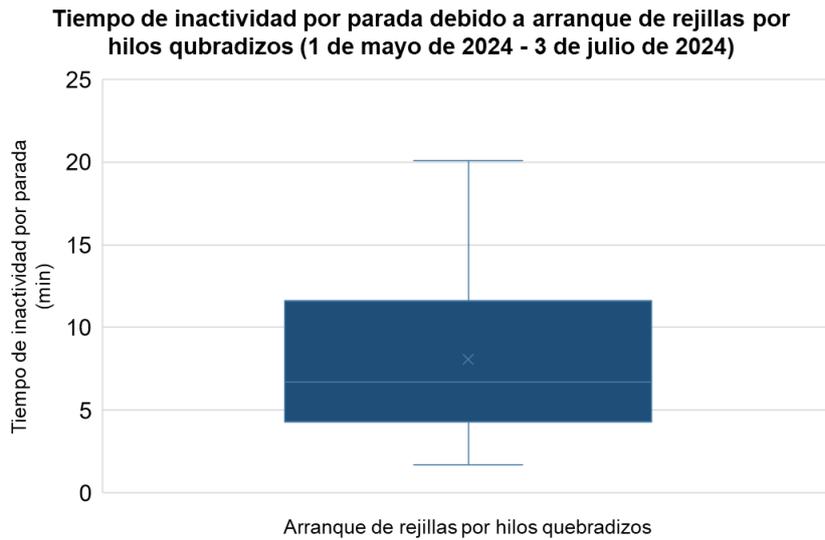


Figura 2.30 Diagrama de caja de tiempo de inactividad por parada debido a arranque de rejillas por hilos quebradizos

2.3.6 5 por qué

Se realizó un segundo focus group con los operadores de la línea de empastado, en el que se pudo analizar el porqué de cada causa potencial hasta que se definió la causa raíz de cada una, luego de que se validó en sitio la información recibida. En la Figura 2.31, se detalla la escala de colores que se aplicó en los 5 por qué para identificar las causas validadas, no validadas y pendientes de validar. El resultado se muestra en la Tabla 2.16.

COLOR	SIGNIFICADO
	VALIDADO
	NO VALIDADO
	PENDIENTE DE VALIDAR

Figura 2.31 Escala de color aplicada en los 5 por qué

Tabla 2.16 5 por qué

N°	Causa potencial	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	Posibles soluciones
		Desgaste de los rodillos.					Cambio de los rodillos (solo hazlo)
4	Las placas no caen correctamente cuando se incrementa la velocidad de la línea.	El apilador no cumple con su ciclo de trabajo del proceso correctamente.	Las uñas bajan más lento de lo que deberían para sostener las placas.				Definición de parámetro apropiado del tiempo de descenso de las uñas a través de experimentos en la línea
			Las placas chocan con las uñas del apilador.	Las uñas están ubicadas más delante de lo que deberían.			Ajuste de la posición de las uñas (solo hazlo)
				.	.	.	
12	Pepas grises en la mezcla.	La pasta se acumula en el medio de la tapa de la mezcladora.	Residuos de mezcla no se limpian entre lotes.	Complejidad en la limpieza.			<ol style="list-style-type: none"> 1. Estándar de limpieza para la mitad de la tapa de la mezcladora al final de la campaña. 2. Incrementar un operador en la línea en turno 1 para limpieza al final de la campaña. 3. Diseño de herramientas que faciliten la ejecución de la limpieza a los operadores.
		La pasta se acumula en los ductos de extracción.	Insuficiente frecuencia de limpieza.				

2.4 Mejora

En esta etapa, se priorizaron las soluciones propuestas, se calcularon los costos de las soluciones seleccionadas y se llevó a cabo su implementación.

2.4.1 Matriz Impacto-Esfuerzo

Con el Ingeniero de Procesos, se clasificaron las soluciones potenciales obtenidas para cada causa raíz, las cuales se detallan en la Tabla 2.17, utilizando la matriz Impacto-Esfuerzo, para evaluar el esfuerzo a aplicarse para implementar cada solución y el impacto que generaría en las causas raíz y, por lo tanto, en la eficiencia de la línea. En la Figura 2.32 se muestra el resultado de la matriz.

Tabla 2.17 *Soluciones potenciales*

N°	Solución
1	Establecer un umbral de tensión al que se somete la rejilla durante el empastado para definir la aceptabilidad de una bobina.
2	Establecer un rango de edad de maduración apropiado basado en un análisis ANOVA.
3	Diseño de experimentos para definir los parámetros en las placas que generan el menor número de paradas por rejillas con marcos rotos o hilos quebradizos.
4	Definición del número límite estándar de rejillas defectuosas por bobina a aceptar.
5	Pulir la mezcladora
6	Establecer la frecuencia de ajuste de los raspadores.
7	Estandarizar las dimensiones y bordes de los raspadores mediante planos.
8	Establecer un estándar visual del correcto estado de los raspadores para su uso en el área de Mantenimiento.
9	Cambiar el material del raspador.
10	Programar los cambios de raspadores en un día alternativo al mantenimiento regular, priorizando los períodos con menor carga operativa.
11	Establecer un estándar de limpieza entre lotes para el mezclador y el cono.
12	Automatizar el sistema de enfriamiento del mezclador cuando finaliza el ciclo de mezclado.
13	Establecer un estándar de limpieza para el centro de la tapa de la mezcladora al final de la campaña.
14	Incrementar un operador en la línea en el turno 1 para limpieza al final de la campaña.
15	Diseño de herramientas que faciliten la limpieza a los operadores.
16	Definición del parámetro apropiado para el tiempo de descenso de las uñas con experimentos en línea.

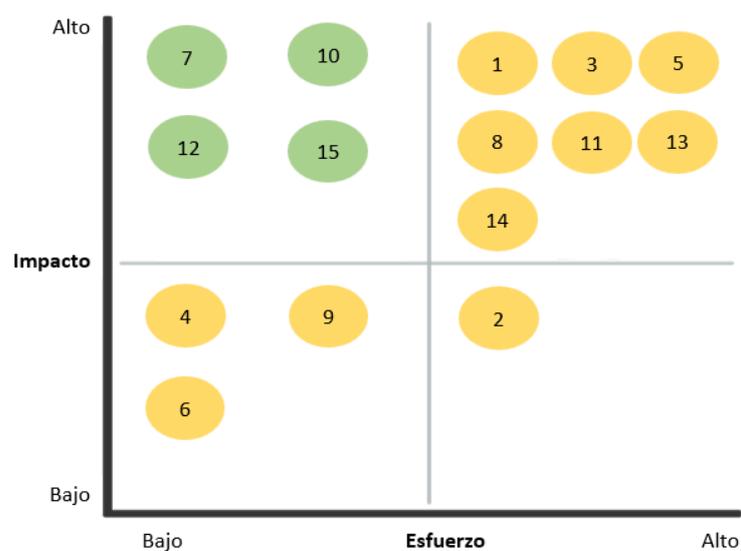


Figura 2.32 Matriz impacto-esfuerzo de soluciones potenciales

2.4.2 Plan de Implementación

Las soluciones implementadas fueron las clasificadas como bajo esfuerzo – alto impacto en la matriz Impacto-Esfuerzo. Para estas, se desarrolló el plan de implementación, el cual se muestra en la Tabla 2.18.

Tabla 2.18 Plan de implementación de soluciones

N°	Causa raíz	¿Qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Quiénes?	¿Cuánto?	¿Cuándo?	Estado
1	Las uñas bajan más lento de lo debido para sostener las placas.	Definición de parámetro apropiado para el tiempo de descenso de las uñas con experimentos en línea.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Prueba aumentando la velocidad de la línea, variando el parámetro de tiempo de descenso de la uña. 2. Seguimiento a los turnos posteriores a la prueba con los registros de Shoplogix. 3. Definición correcta de la configuración. 	Máquina de empastado Apilador	Líderes de Proyecto Ingeniero de Procesos Pasante de Producción	\$494,00	22/07/2024 – 25/05/2024	Cancelado
		...						
4	La limpieza en la mitad de la tapa de la mezcladora no se realiza al final de la campaña.	Establecer un estándar de limpieza para el centro de la tapa de la mezcladora al final de la campaña.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seguimiento a la mezcladora para determinar la cantidad de lotes o turnos que ha producido antes de que la pasta se comience a acumular y se deba limpiar. 2. Recolección de evidencia. 2. Actualización de instructivo de limpieza y estándar visual. 3. Capacitación a los operadores. 	Mezcladora	Líderes de Proyecto Ingeniero de Procesos Pasante de Producción	\$1.841,00	22/07/2024 – 09/08/2024	Terminado

2.4.3 Análisis Económico

Se calcularon los costos de la implementación de cada una de las soluciones, los cuales se muestran en la Tabla 2.19.

Tabla 2.19 *Cálculo de costos de implementación*

No.	Solución	Costos asociados	Valores usados	Subtotal	Total
1	Definición de parámetro apropiado para el tiempo de descenso de las uñas con experimentos en línea	Costo del desperdicio de placas generado en la prueba por enredos en el apilador	Costo de producción/placa: \$0.2953/ placa Cantidad de placas desperdiciadas durante la prueba: 176 placas	\$52	\$494
		Costo de no producción por tiempo de inactividad causado por enredos en el apilador durante la prueba	Tiempo de paradas generadas: 7,2 minutos Costo de producción/placa: \$0.2953/ placa Tasa de producción media: 12.466 planchas/hora	\$442	
2	Estandarizar las dimensiones y bordes de los raspadores	Costo de las horas de mano de obra utilizadas para realizar los planos	Costo de mano de obra/hora: \$7 Número de horas utilizadas: 2 horas	\$14	\$14
3	Establecer un estándar de limpieza entre lotes para la mezcladora y el cono	Costo no productivo por capacitación de operadores	Número de horas de formación: 0,5 horas	\$1.841	\$1.841
4	Establecer un estándar de limpieza para el centro de la tapa de la mezcladora al final de la campaña		Costo de producción/placa: \$0.2953/ placa		

2.4.4 Implementación

2.4.4.1 Solución 1: Definición de parámetro apropiado para el tiempo de descenso de la uña del apilador de placas con experimentos en la línea

Para la implementación de esta solución, se comenzó definiendo los parámetros a controlar durante el experimento con el apoyo de los operadores y el Ingeniero de Procesos. Los parámetros se indican en la Tabla 2.20.

Tabla 2.20 *Parámetros a variar durante el experimento*

Parámetro	Mínimo	Máximo
Velocidad de la línea	28	30
Tiempo de descenso de la uña	625	675

Durante el experimento, se fue incrementando la velocidad de la línea si no se presentaban enredos en el apilador. Caso contrario, se decidía disminuir el tiempo de bajada de la uña. El desarrollo de este experimento se detalla en la Tabla 2.21.

Tabla 2.21 *Desarrollo de experimento en la línea*

Hora de inicio	Hora de fin	Velocidad de la línea (m/min)	Tiempo de descenso de la uña (ms)	Enredos observados	Observación
13:45	14:45	28	650	0	-
14:45	14:47	30	650	0	-
14:47	15:10	30	640	2	1. Placas desalineadas en el apilador. 2. La base no bajó debido a placas de enredos anteriores.
15:10	15:15	30	630	0	-

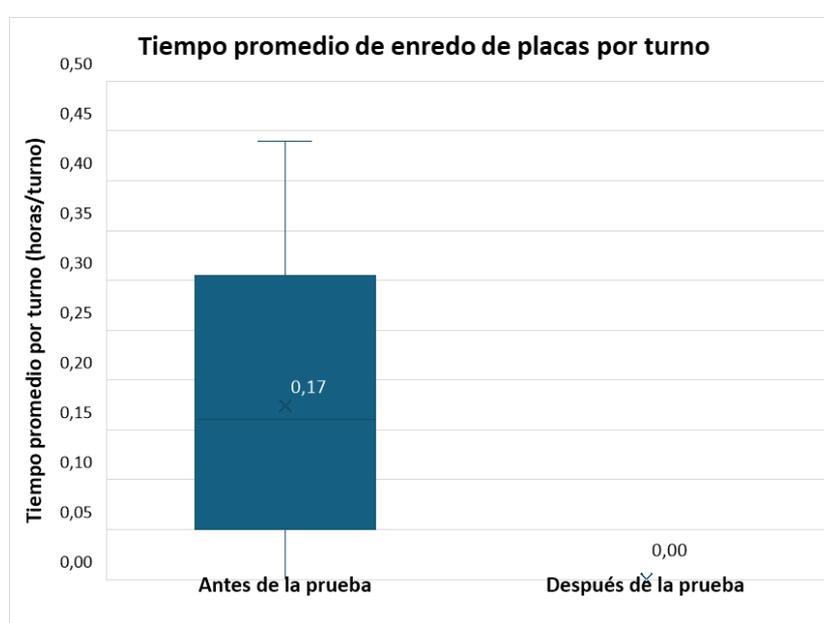
Con la configuración alcanzada de velocidad de la línea de 30 metros/minuto con 630 ms de velocidad de bajada de la uña, la línea no produjo por más de 5 minutos porque se realizó cambio de referencia. Por esta razón se decidió dar seguimiento a los enredos en el apilador en los turnos posteriores con el sistema de Shoplogix.

Cabe recalcar que, durante el experimento, se presentaron paradas por otras razones, las cuales se muestran en la Tabla 2.22. Sin embargo, estas fueron variables no controladas.

Tabla 2.22 Variables no controladas durante el experimento

Razón de Parada	Ocurrencia	Tiempo total (horas)
Arranque de rejillas en tolva por calidad de rejillas	7	0,27
Cambio de papel	1	0,15
Arranque de papel	1	0,05

En la Figura 2.33, se puede observar que la línea continuó trabajando sin enredos en el apilador con la última configuración alcanzada durante el experimento.

**Figura 2.33** Tiempo promedio de enredo de placas antes y después del experimento

Luego de la implementación de esta solución, se realizaron modificaciones en la operación del apilador durante el mantenimiento anual de la línea, por lo que no se logró concluir la implementación de esta solución.

2.4.4.2 Solución 2: Estandarización de las dimensiones y bordes de los raspadores mediante planos

Se identificaron mejoras en los raspadores con los distintos operadores de la mezcladora:

- Incremento del largo del raspador del piso y eje de la mezcladora para remover más mezcla
- Modificación en el borde con inclinación del raspador de la pared de la mezcladora para retirar de mejor manera la mezcla.

Posterior a esto, se midieron los raspadores originales y se realizó un plano para cada raspador de las medidas actualizadas con las mejoras identificadas para que el área de Mantenimiento los elabore y, una vez listos, se verificó que las medidas fueran las correctas y se definió la ubicación de los ojos de los raspadores.

En esta verificación, se identificaron mejoras con respecto a los ojos de los raspadores, los cuales se ubicaron de tal manera que se tenga disponible más espacio de ajuste y se extienda su vida útil, puesto que estos se van desgastando con el uso y se deben ajustar cada cierto tiempo. Además, para el raspador de la pared se disminuyó el ángulo de inclinación del lado superior e inferior de éste para disminuir el espacio existente entre el raspador y la pared por desviaciones en la mezcladora, y se consiga retirar más mezcla.

Se actualizaron los planos y se entregaron al área de Mantenimiento, los cuales se muestran en la Figura 2.34, Figura 2.35 y Figura 2.36. Cabe recalcar que, en todos los planos de los raspadores, se estableció un estándar de calidad superficial para garantizar una adecuada fabricación.

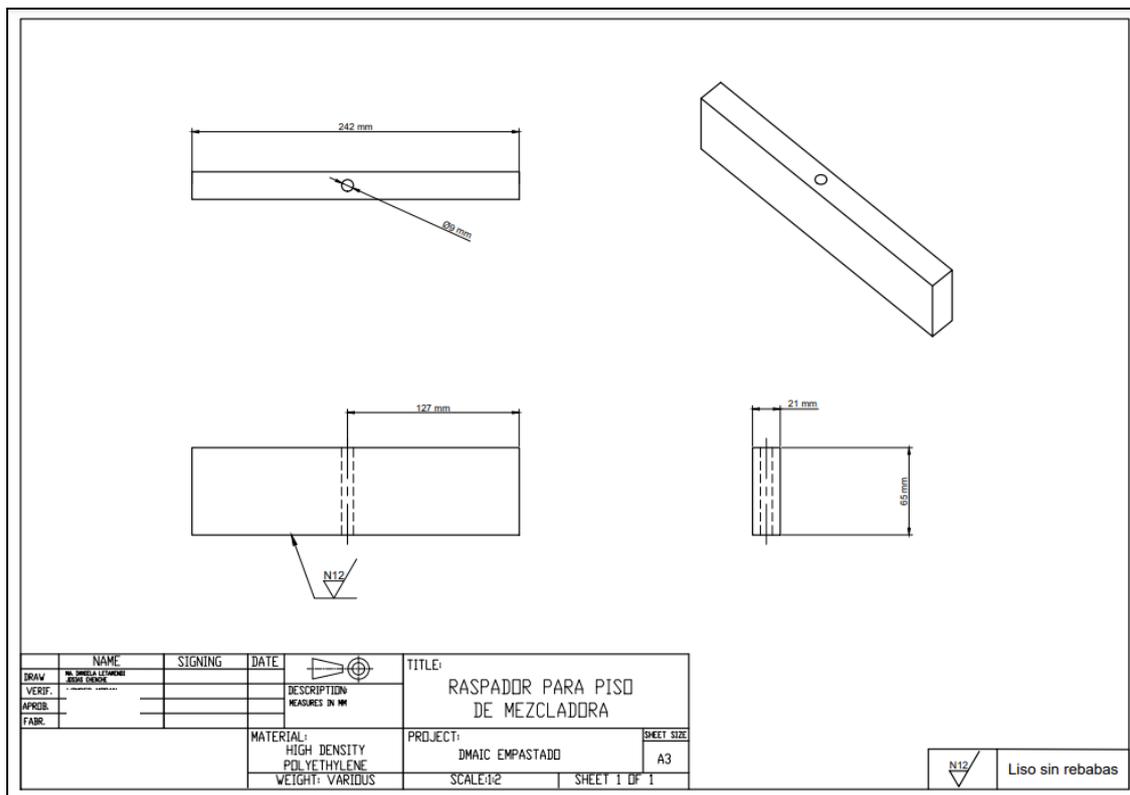


Figura 2.34 Plano de raspador para piso de mezcladora

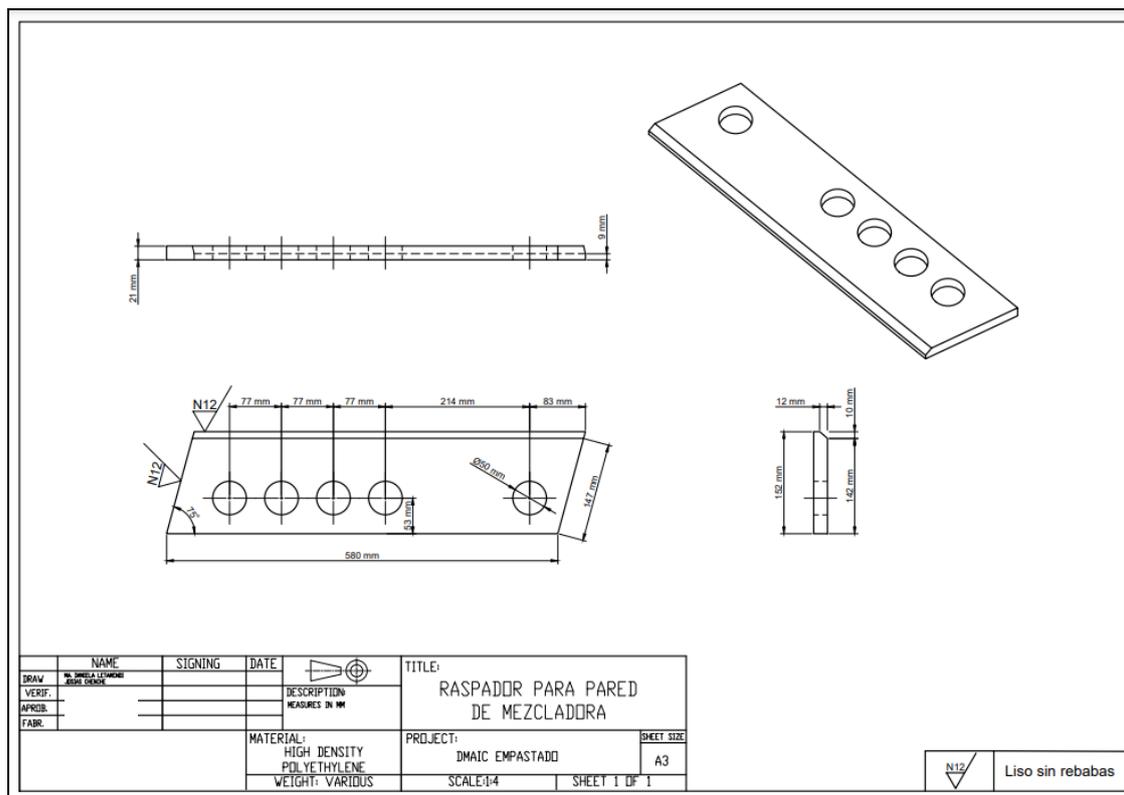


Figura 2.35 Plano de raspador para pared de mezcladora

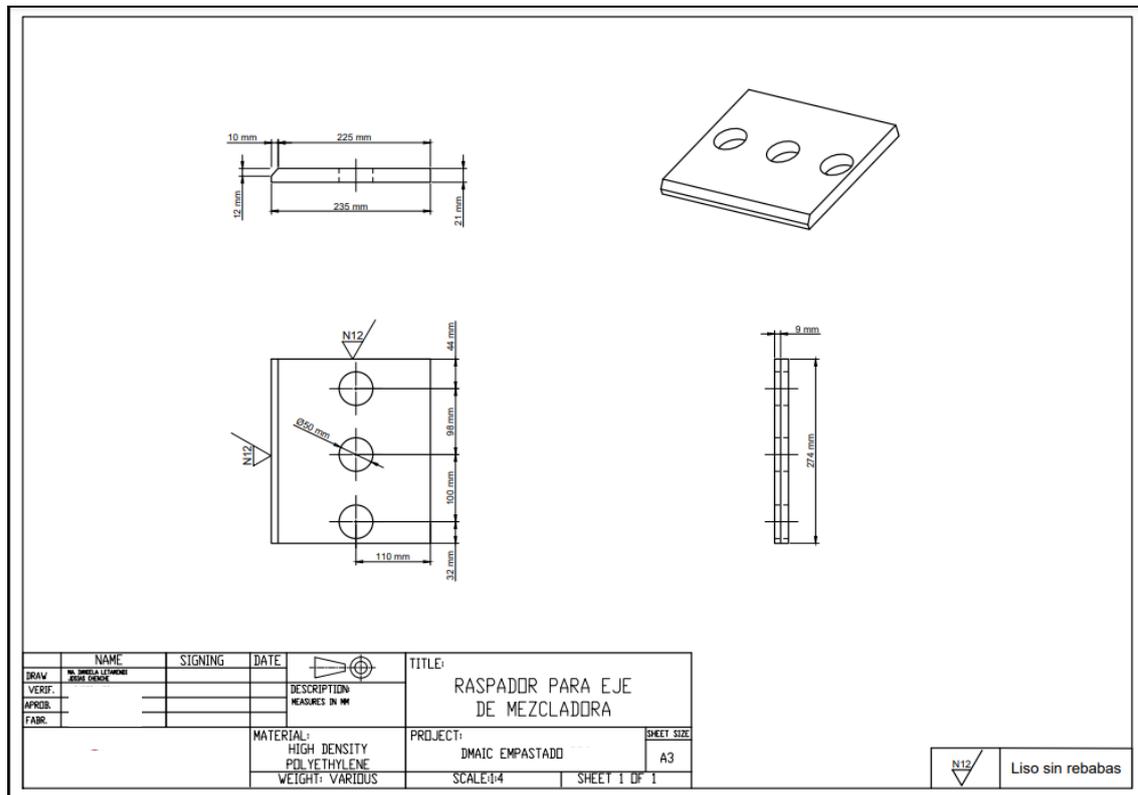


Figura 2.36 Plano de raspador para eje de mezcladora

2.4.4.3 Solución 3: Estandarización de la limpieza de la mezcladora y el cono

Para la implementación de esta solución, se evaluó la cantidad promedio de paradas por arranque de rejilla por turno por operador y se obtuvo que el operador Domo tuvo la menor cantidad como se observa en la Figura 2.37, por lo que se decidió darle seguimiento a la limpieza de la mezcladora y el cono que él realiza.

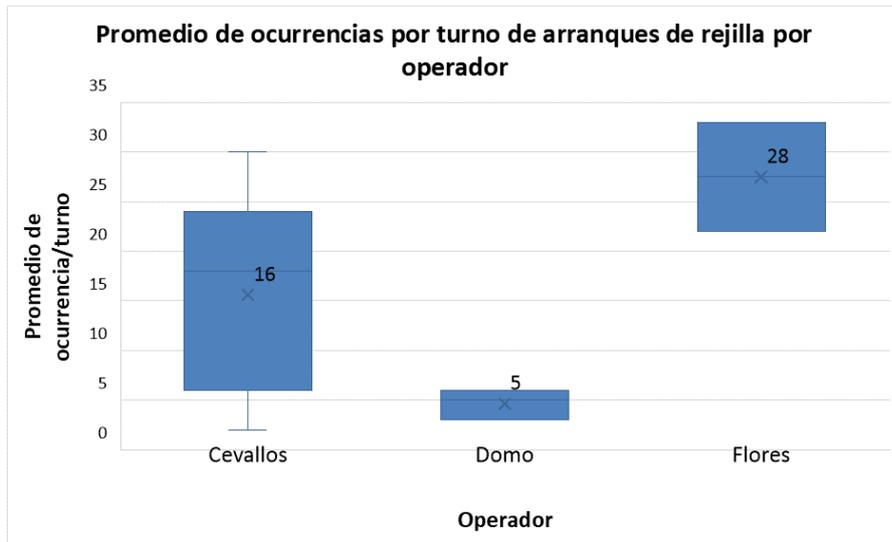


Figura 2.37 Promedio de ocurrencias por turno de arranques de rejilla por operador

Como resultado de este seguimiento, se actualizó el procedimiento de limpieza de la mezcladora, mostrado en la Figura 2.38, con una frecuencia de cada 3 lotes y en cada cambio de referencia. Para la limpieza del cono, se estableció una frecuencia de 2 veces por turno, como se observa en la Figura 2.39. Además, se indicó que se aproveche a realizar estas limpiezas en los cambios de referencia en caso de que se encuentren planificados.

Puesto de trabajo • Técnico de Mezcladora • Administrativo de Planta	Fecha de Aprobación: <i>Ab/18/2014</i>			CÓDIGO MEZ-FOS	
	Elaborado por: W.Morán	Aprobado por: DR	Aprobado por: CPvC	Ciclo 420 p/acad/min	
Nombre elemento: # 1 Mezcladora	[Green Cross] Seguro para el operador [Yellow Triangle C] Proceso crítico [Blue Diamond] Chequeo Calidad [Blue Circle] Secuencia obligatoria				
	Símbolo 	Paso # 21	Paso Principal (¿Qué?) Limpiar las zonas de acumulación de pasta de la mezcladora cada 3 lotes en mezcla negativa y durante los cambios de referencia negativos.	Punto Clave (¿Cómo?) 1. Cuando la mezcladora esté vacía después liberar la pasta al cono y antes de iniciar una nueva parada, con la espátula y/o alguna otra herramienta apropiada limpiar la tapa, paredes, piso, brazos, raspadores, bordes, y cualquier otra parte de la mezcladora en donde se acumule la pasta. 2. Recoger la pasta quemada y depositarla en el tacho y dejar la pasta suave en la mezcladora. 3. Mezclar el residuo de pasta suave que quedó con 1lt de agua entre 3 y 5 min. 4. Continuar con el proceso de mezclado de la siguiente parada con normalidad. 5. Repetir el proceso de limpieza cada 3 paradas. 6. La limpieza de mezcladora debe quedar según los estándares de limpieza publicados en el área. Para realizar la limpieza durante los cambios de referencia se deberá coordinar con el personal de empastado el tiempo estimado de cambio de referencia con el fin de tener la mezcladora vacía durante este tiempo.	Razón (¿Por qué?) Para asegurar que no se formen pepas en la pasta y cause arranque de rejillas.

Figura 2.38 Procedimiento de limpieza de la mezcladora

Puesto de trabajo • Técnico de Mezcladora • Administrativo de Planta	Fecha de Aprobación: <i>Abx/12/2014</i>			CÓDIGO MEZ-FCS	
	Elaborado por: W.Morán	Aprobado por: DR	Aprobado por: CPVC	Ciclo 420 placas/min	
Nombre elemento: #1 Mezcladora	 Seguro para el operador	 Proceso crítico	 Chequeo Calidad	 Secuencia obligatoria	
	Símbolo	Paso #	Paso Principal ¿(C)ué?	Punto Clave ¿(C)ómo?	Razón ¿(P)or qué?
	 	22	Limpiar las zonas de acumulación de pasta del cono 2 veces en el turno durante la producción de placas negativas o durante los cambios de referencia negativos.	1. Coordinar con el personal de la empastadora el tiempo estimado en el que se realizará algún cambio de referencia según el programa de producción para tener el cono vacío durante dicho cambio, en caso de que sea posible. 2. Asegurar que el [nombre del recipiente que está en entre la salida del cono y la tolva] esté colocado para evitar que caiga pasta seca durante la limpieza. 3. Limpiar el raspador y paredes del cono donde se acumule pasta. 4. La limpieza del cono debe quedar según los estándares de limpieza publicados en el área. La limpieza del cono se ejecutará 2 veces en el turno. La primera limpieza se realizará a inicios del turno en caso de que el cono esté sucio (si ya está limpio no hará falta realizar esta primera limpieza), y la segunda a mediados del turno. Aprovechar los cambios de referencia para realizar alguna de las limpiezas del cono como se detalla en el procedimiento.	Para asegurar que no se formen pepas en la pasta y cause arranque de rejillas.

Figura 2.39 Procedimiento de limpieza del cono

También, se elaboró un estándar visual para la limpieza de la mezcladora y un estándar visual con la frecuencia de la limpieza de la mezcladora y el cono, mostrados en la Figura 2.40 y Figura 2.41, respectivamente, los cuales se ubicaron en el área de mezclado para visualización de los operadores como se visualiza en la Figura 2.42. Y para finalizar, se realizó una capacitación a los operadores para su conocimiento, como se observa en la Figura 2.43.

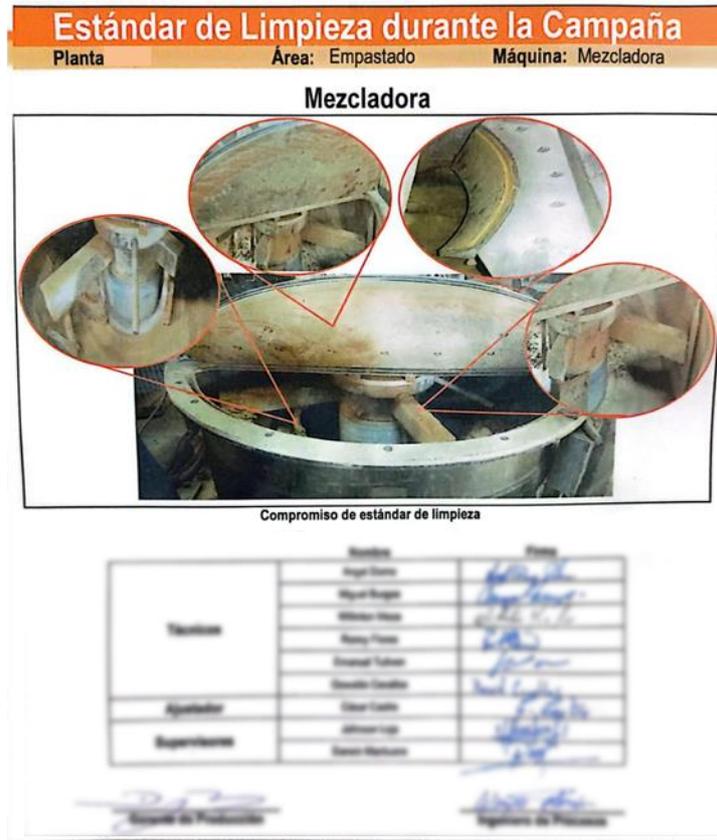


Figura 2.40 Estándar visual de limpieza de la mezcladora

Frecuencia de limpieza durante la producción de placas negativas

Mezcladora y Cono

Durante la producción de placas negativas y cambios de referencias podemos hacer las siguientes actividades para evitar arranques de rejillas en tolva por impurezas en la pasta

Actividad	Descripción	Frecuencia
Limpieza de mezcladora	Extraer la pasta quemada y mezclar con 1 lt de agua la pasta suave restante	cada 3 paradas
Limpieza del cono	Extraer la pasta quemada adherida al raspador y las paredes del cono	cada 1/2 turno

Limpieza de mezcladora

Limpieza del cono

Figura 2.41 Estándar de frecuencia de limpieza de la mezcladora y el cono



Figura 2.42 Estándares de limpieza en la estación de mezclado



Figura 2.43 Capacitación a los operadores

2.4.4.4 Solución 4: Estandarización de la limpieza de la mitad de la tapa de la mezcladora al final de la campaña

Para la implementación de esta solución, se inició la semana con la línea totalmente limpia y se observó que, después de 4 turnos de producción, en la mitad de la semana, el área superior por dentro de la mezcladora ya se encontraba sucia con pasta. Por esta razón, con el

Ingeniero de Procesos, se definió realizar la limpieza de esta sección de la mezcladora 2 veces a la semana: lunes y miércoles en el turno 1 antes de comenzar la producción.

Se actualizó el procedimiento de limpieza de la mezcladora con la frecuencia establecida, el cual se observa en la Figura 2.44, y el estándar visual, ya existente, de la compañía. Y para finalizar, se realizó una capacitación a los operadores para su conocimiento, como se observa en la Figura 2.43.

Puesto de trabajo • Técnico de Mezcladora • Administrativo de Planta	Fecha de Aprobación: <i>Apr/2024</i>			CÓDIGO MEZ-FDS	
	Elaborado por: W.Morán	Aprobado por: DR	Aprobado por: CPvC	Cielo 420 placas/min	
Nombre elemento: # 1 Mezcladora	 Seguro para el operador	 Proceso crítico	 Chequeo Calidad	 Secuencia obligatoria	
	Símbolo	Paso #	Paso Principal (¿Qué?)	Punto Clave (¿Cómo?)	Razón (¿Por qué?)
		1	Limpieza en la parte central de la tapa de la mezcladora	Antes de preparar la mezcla para el inicio de la campaña durante el lunes y miércoles Turno 1 asegurarse que la parte central de la tapa de la mezcladora se encuentra limpia, caso contrario limpiar con una espátula o herramienta que se considere pertinente, extrayendo toda la pasta seca de la mezcladora (reportar la mala limpieza en el turno anterior de ser necesario).	Para asegurar que no se formen pepas en la pasta y cause arranque de rejillas.

Figura 2.44 Procedimiento de limpieza en la parte central de la tapa de la mezcladora

Capítulo 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En esta sección, se detalla lo desarrollado en la etapa de Control, quinta etapa de la metodología DMAIC aplicada en el proyecto.

3.1 Control

En esta etapa, se evaluó la eficiencia y el impacto económico, ambiental y social luego de la implementación de las soluciones. También, se definió el plan de control de estas soluciones.

3.1.1 Comparación de la eficiencia por turno

Se comprobó la normalidad y homocedasticidad de los datos para la eficiencia por turno antes y después de la implementación de las soluciones para, posteriormente, con una prueba t para 2 muestras, evaluar si existe una diferencia significativa entre las 2 medias. Las hipótesis evaluadas se muestran en la Figura 3.1 con el valor p obtenido, el cual fue menor a 0.05, por lo que se rechazó la hipótesis nula y se pudo concluir que la eficiencia por turno incrementó significativamente.

En la Figura 3.2, se muestran estadísticas descriptivas obtenidas, en las que se puede identificar el número de datos, la media, desviación estándar y error cuadrático para cada grupo. El diagrama de cajas se presenta en la Figura 3.3 con datos recopilados desde el 5 al 19 de agosto del 2024 para la eficiencia después de la implementación de soluciones.

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T GL Valor p

-3.68 33 0.001

Figura 3.1 Hipótesis y valor p de prueba t para 2 muestras

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
% Eficiencia antes	46	0.4318	0.0691	0.010
% Eficiencia después	17	0.4962	0.0586	0.014

Figura 3.2 Estadísticas descriptivas de prueba t para 2 muestras

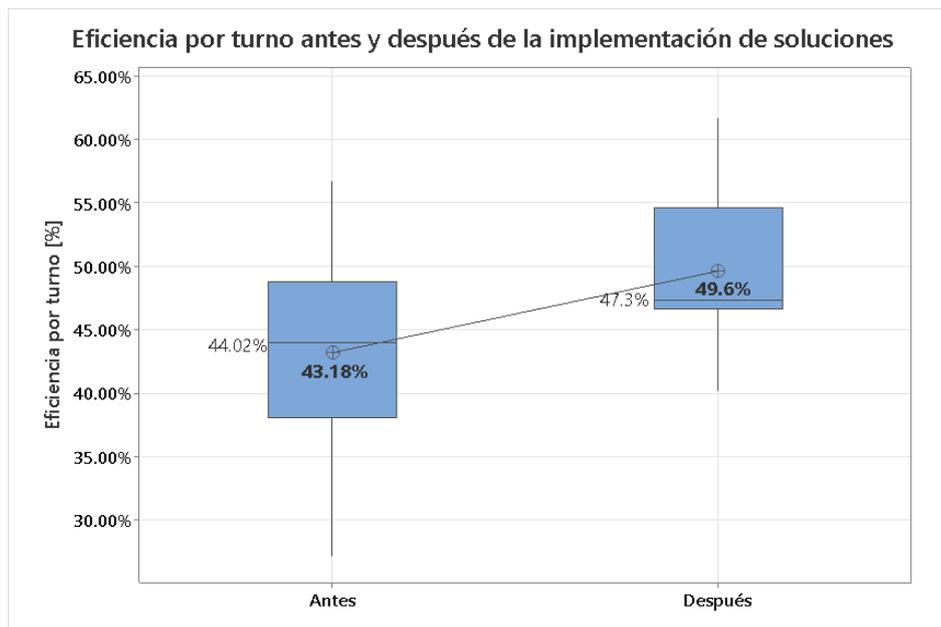


Figura 3.3 Eficiencia por turno antes vs después de la implementación de las soluciones

3.1.2 Capacidad del proceso después de la implementación de las soluciones

Primero, se comprobó la normalidad de la eficiencia del proceso por turno con los datos recolectados desde el 5 al 19 de agosto del 2024. Las hipótesis evaluadas fueron las siguientes:

Ho: Los datos siguen una distribución normal

H1: Los datos no siguen una distribución normal

En la Figura 3.4 se puede observar el resultado, con el cual se concluyó que los datos son normales por presentar un valor p mayor a 0.1, aceptando la hipótesis alternativa (H1).

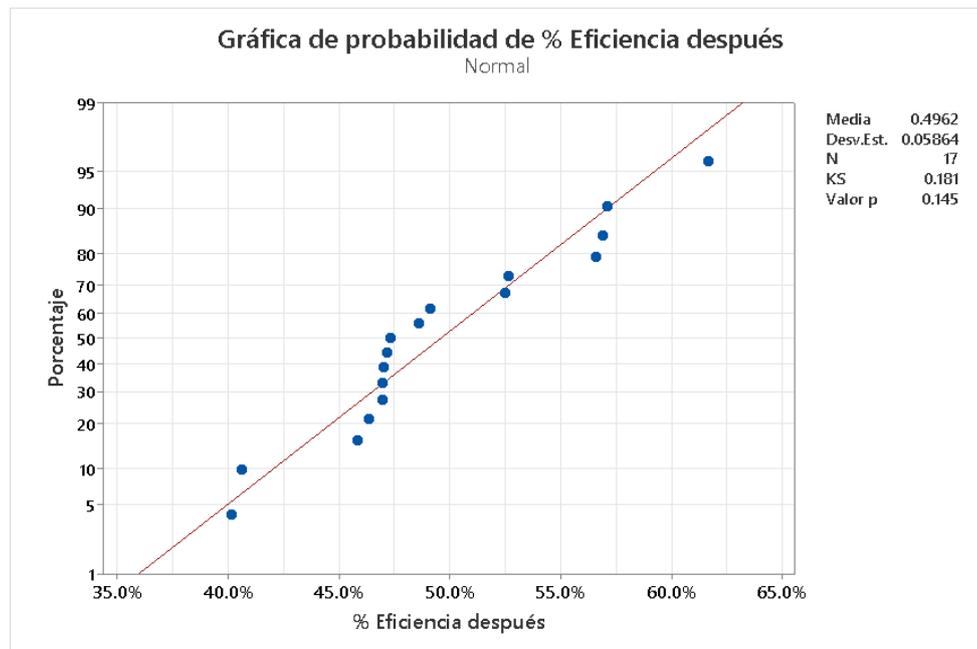


Figura 3.4 Análisis de normalidad de eficiencia por turno después de la implementación de las soluciones

Posterior a esto, se procedió con el análisis de estabilidad, el cual se observa en la Figura 3.5 y se concluyó que el proceso se encuentra bajo control estadístico, ya que no se encontraron datos fuera de los límites de control.

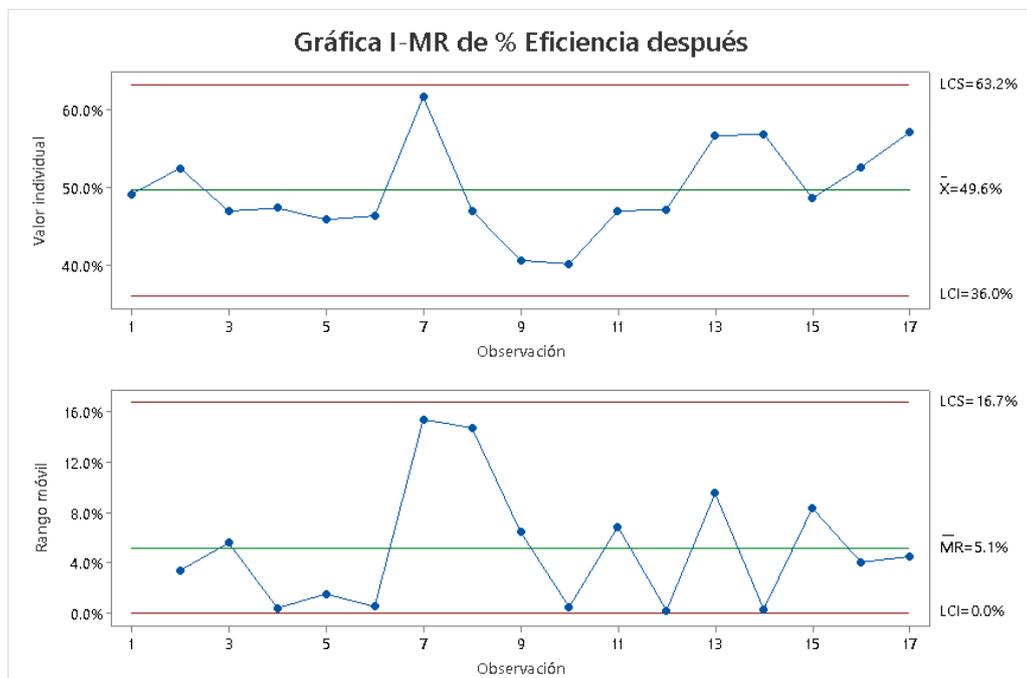


Figura 3.5 Análisis de estabilidad de eficiencia por turno después de la implementación de las soluciones

Se estableció como límite de especificación inferior una eficiencia del 52%, ya que es lo mínimo esperado por el cliente al finalizar este proyecto, y se concluyó que el proceso aún no es capaz de cumplir con este requerimiento por obtener un Cpk de -0.18 como se observa en la Figura 3.6 Sin embargo, éste se incrementó en un 60.87% en relación con el Cpk antes de la implementación de soluciones, el cual era de -0.46.

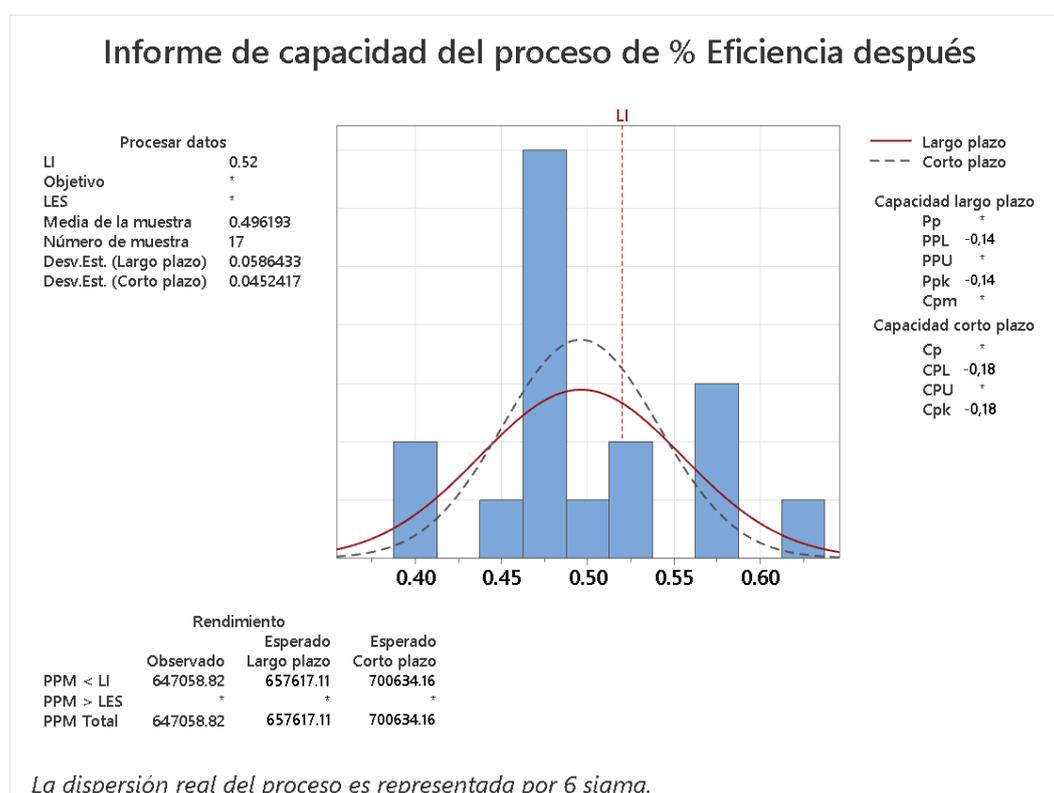


Figura 3.6 Análisis de capacidad de eficiencia por turno

3.1.3 Indicadores de la Triple Línea Base después de la implementación de soluciones

3.1.3.1 Impacto económico

El indicador considerado para medir el impacto económico del proyecto fue la eficiencia por turno, la variable de respuesta seleccionada y analizada previamente.

3.1.3.2 Impacto ambiental

Con los datos del 5 al 19 de agosto del 2024, se comprobó la normalidad y homocedasticidad de los datos para tasa promedio de desperdicio de placas por turno, medida en

placas por hora, para, posteriormente, con una prueba t para 2 muestras, evaluar si existe una diferencia significativa entre las 2 medias. Las hipótesis evaluadas se muestran en la Figura 3.7 con el valor p obtenido, el cual fue menor a 0.05, indicando que se puede rechazar la hipótesis nula y las medias son diferentes. Por lo tanto, se concluyó que se redujo de manera significativa la tasa de desperdicio de placas después de la implementación de las soluciones.

En la Figura 3.8, se muestran estadísticas descriptivas obtenidas, en las que se puede identificar el número de datos, la media, desviación estándar y error cuadrático para cada grupo. El diagrama de cajas se presenta en la Figura 3.9.

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T GL Valor p

2.45 50 0.018

Figura 3.7 Hipótesis y valor p de prueba t para 2 muestras

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Desperdicio antes [u/h]	44	263	134	20
Desperdicio después [u/h]	18	194.3	81.5	19

Figura 3.8 Estadísticas descriptivas de prueba t para 2 muestras

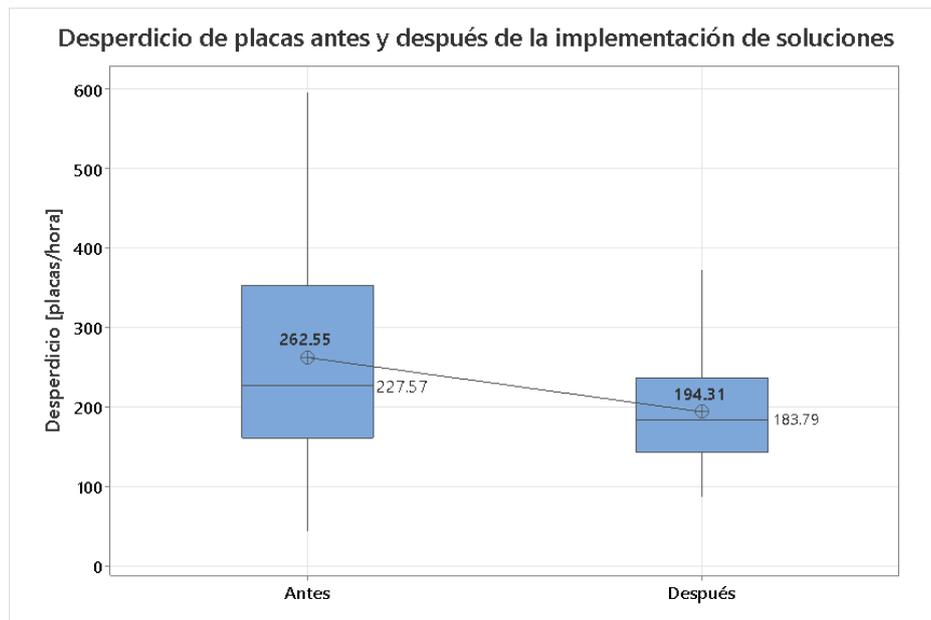


Figura 3.9 Desperdicio de placas antes vs después de la implementación de soluciones

3.1.3.3 Impacto social

Se realizaron 2 capacitaciones al personal de la línea de empastado sobre diferentes herramientas de mejora continua que se aplicaron a lo largo del proyecto para que los operadores conozcan lo que se estaba llevando a cabo para mejorar la productividad del proceso y se sientan partícipes de las mejoras.

En la primera capacitación, se les explicó la herramienta del diagrama de Ishikawa y en la segunda capacitación, la matriz causa-efecto, además de aplicar estas herramientas con ellos para el presente proyecto. Los registros de participación se muestran en la Figura 3.10 y Figura 3.11, respectivamente.

		Registro de Participación		
		No.		
Empresa: _____				
Tema: <u>Herramientas de Mejora Continua: Diagrama de Ishikawa</u>				
Tipo: Curso <input type="checkbox"/> Charla <input checked="" type="checkbox"/> Comunicación <input type="checkbox"/>				
Lugar: <u>Sala de Capacitación</u> Horario: <u>08:00-16:30</u>				
Fecha: <u>21/06/2024</u> Duración: <u>60 minutos</u>				
Cod. de Marcadón	Nombre	Firma		
1. <u> </u>	<u> </u>	<u> </u>		
2. <u> </u>	<u> </u>	<u> </u>		
3. <u> </u>	<u> </u>	<u> </u>		
4. <u> </u>	<u> </u>	<u> </u>		
5. <u> </u>	<u> </u>	<u> </u>		
6. <u> </u>	<u> </u>	<u> </u>		
7. _____	_____	_____		
8. _____	_____	_____		
9. _____	_____	_____		
10. _____	_____	_____		
11. _____	_____	_____		
12. _____	_____	_____		
13. _____	_____	_____		
14. _____	_____	_____		
15. _____	_____	_____		
16. _____	_____	_____		
17. _____	_____	_____		
18. _____	_____	_____		
19. _____	_____	_____		
20. _____	_____	_____		
21. _____	_____	_____		
22. _____	_____	_____		
23. _____	_____	_____		
24. _____	_____	_____		
25. _____	_____	_____		
Nombre de Instructor: <u> </u>		Firma: <u> </u>		
Elaborado por: A	Aprobado por: M.A.	Aprobado por: CPVC	Fecha: Oct31/2016	Versión 3.3

Figura 3.10 Registro de participación de capacitación sobre el diagrama de Ishikawa

Registro de Participación				
No.				
Empresa:				
Tema: <u>Herramientas de mejora continua: Matriz causa-efecto</u>				
Tipo: Curso <input type="checkbox"/> Charla <input checked="" type="checkbox"/> Comunicación <input type="checkbox"/>				
Lugar: <u>Sala de Capacitación</u> Horario: <u>15:30' - 16:00'</u>				
Fecha: <u>24/06/2024</u> Duración: <u>30 min</u>				
Cod. de Marcación	Nombre	Firma		
1.	<u>[Handwritten Name]</u>	<u>[Handwritten Signature]</u>		
2.	<u>[Handwritten Name]</u>	<u>[Handwritten Signature]</u>		
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				
11.				
12.				
13.				
14.				
15.				
16.				
17.				
18.				
19.				
20.				
21.				
22.				
23.				
24.				
25.				
Nombre de Instructor: <u>[Handwritten Name]</u>		Firma: <u>[Handwritten Signature]</u>		
Elaborado por:	Aprobado por: <u>M.A.</u>	Aprobado por: <u>CPVC</u>	Fecha: <u>Oct31/2016</u>	Versión: <u>3.3</u>

Figura 3.11 Registro de participación de capacitación sobre la matriz causa-efecto

3.1.4 Plan de control

Se definió el plan de control a seguir después de la finalización del proyecto para asegurar el cumplimiento de las soluciones en cada proceso intervenido. En la Tabla 3.1, se detalla el plan de control para la verificación del cumplimiento del estándar de limpieza en la mezcladora.

Tabla 3.1 Plan de control de verificación de cumplimiento del estándar de limpieza

Proceso: Verificación de cumplimiento del estándar de limpieza				
Proyecto: Incremento de eficiencia en línea de empastado			Líderes de proyecto: J. Chenche & M. Letamendi	
Dueño del proceso: Ingeniero de Procesos			Fecha: Agosto 2024	
¿Qué?	¿Cómo?	¿Quién?	¿Cuándo?	Documento
Establecimiento de estándar visual en la estación de mezclado.	Reimpresión, laminado y ubicación de estándar visual de limpieza en estación de mezclado en un lugar que sea visible por los operadores.	Ingeniero de Procesos	Cada 6 meses	-
Revisión de indicador de paradas por impurezas en pasta por operador.	Revisión periódica de indicador de paradas por problemas con la pasta por operador para verificar el cumplimiento del estándar; caso contrario, tomar las medidas apropiadas.	Ingeniero de Procesos	Semanalmente	-

El indicador de paradas mencionado en el plan de control previamente mencionado se desarrolló en el sistema en tiempo real de la compañía, Shoplogix. Este indicador se muestra en un gráfico para llevar el control de las ocurrencias de arranque de rejilla por impurezas en pasta y por calidad de las rejillas por operador de mezclado y empastado por turno, como se observa en la Figura 3.12, para identificar cuando estén ocurriendo arranques de rejilla por la calidad de éstas o porque el operador del turno no está realizando las limpiezas correspondientes según el estándar establecido.

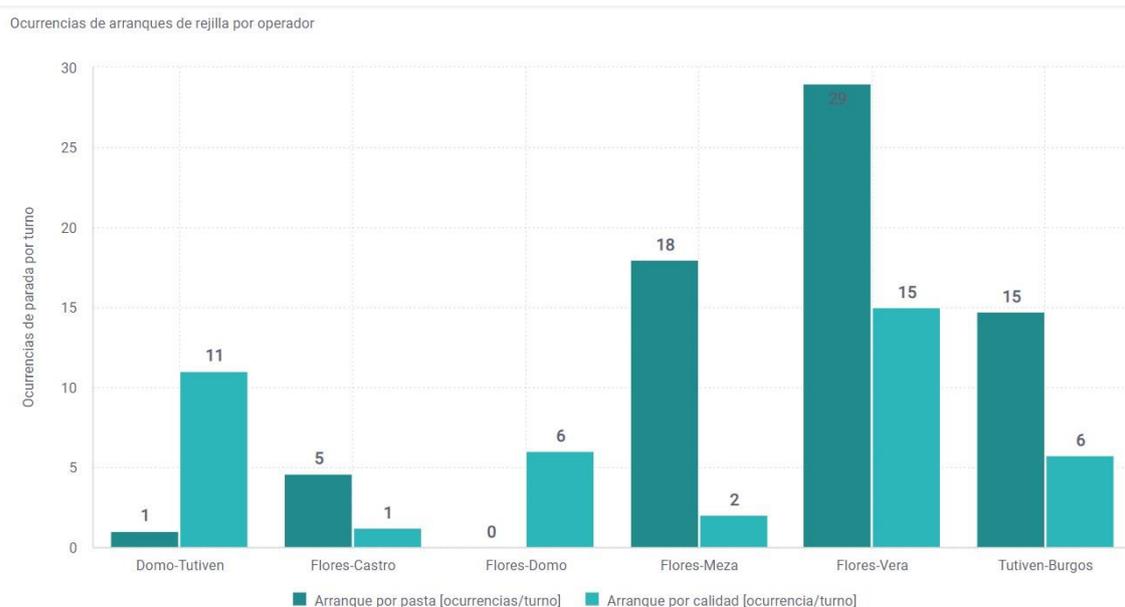


Figura 3.12 Control visual por operador

En la Tabla 3.2, se muestra el plan de control definido para lograr el cumplimiento del estándar de limpieza en la mitad de la tapa de la mezcladora.

Tabla 3.2 Plan de control para verificación de cumplimiento del estándar de limpieza en la mitad de la tapa de la mezcladora

Proceso: Verificación de cumplimiento del estándar de limpieza en la mitad de la tapa de la mezcladora				
Proyecto: Incremento de eficiencia en línea de empastado			Líderes de proyecto: J. Chenche & M. Letamendi	
Dueño del proceso: Ingeniero de Procesos			Fecha: Agosto 2024	
¿Qué?	¿Cómo?	¿Quién?	¿Cuándo?	Documento
Reportar la limpieza realizada en una lista de verificación.	Completar la lista de verificación de limpieza de la mezcladora cada que ésta se realice, la cual incluye los puntos críticos de limpieza, como la parte superior de la mezcladora y debajo de los brazos.	Operador asignado	2 veces a la semana por 8 semanas	Lista de Verificación de Limpieza de la Mezcladora mostrada en la Tabla 3.3

Tabla 3.3 *Lista de verificación de limpieza de la mezcladora*

Registro	Responsable	Fecha	Actividades	Verificación
1			Limpieza de la parte superior de la mezcladora	
			Limpieza de la parte inferior de los brazos de la mezcladora	
2			Limpieza de la parte superior de la mezcladora	
			Limpieza de la parte inferior de los brazos de la mezcladora	
3			Limpieza de la parte superior de la mezcladora	
			Limpieza de la parte inferior de los brazos de la mezcladora	

En la Tabla 3.4, se muestra el plan de control definido para asegurar el uso de los planos establecidos para los raspadores de la mezcladora.

Tabla 3.4 *Plan de control para verificación del uso de planos establecidos*

Proceso: Verificación del uso de planos establecidos				
Proyecto: Incremento de eficiencia en línea de empastado			Líderes de proyecto: J. Chenche & M. Letamendi	
Dueño del proceso: Ingeniero de Procesos			Fecha: Agosto 2024	
¿Qué?	¿Cómo?	¿Quién?	¿Cuándo?	Documento
Formalización de planos como documento controlado.	Envío de correo electrónico para revisión y aprobación de planos con el departamento de Ingeniería para ser parte del Sistema Integrado de Gestión.	Operador asignado	2/9/2024 – 6/9/2024	-

Capítulo 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Tras aplicar las distintas herramientas correspondientes a cada etapa de la metodología DMAIC, se obtienen las siguientes conclusiones primordiales:

- Se incrementó la eficiencia por turno en la línea de elaboración de placas del proceso productivo de baterías para vehículos de un 43.18% a un 49.60%, a través de la implementación de la metodología DMAIC, hasta agosto 2024.

- Se identificaron y se verificaron las causas raíz para cada causa potencial validada. Las causas raíz de mayor impacto y menor esfuerzo que se eliminaron de raíz fueron:

- ✓ Los raspadores no tienen las dimensiones correctas.
- ✓ Los bordes de los raspadores no vienen con las condiciones correctas.
- ✓ Residuos de mezcla en los brazos, piso y paredes de la mezcladora no se limpian entre lotes.
- ✓ Limpieza en el medio de la tapa de la mezcladora no se realiza al final de la campaña.

- Se aplicaron herramientas de mejora continua como la estandarización, específicamente de la limpieza de la mezcladora, y de las dimensiones y bordes de los raspadores utilizados para remover la mezcla, la cual se implementó a través de un estrecho trabajo con los operadores, capacitaciones y actualización de procedimientos de la empresa.

- Se definieron diferentes procesos de control para el cumplimiento de las soluciones una vez finalizado el proyecto, entre los más importantes se encuentran:

- ✓ Estándares de control visual de limpieza de la mezcladora de fácil visualización para los operadores.
- ✓ Gráfica de barras en la que se visualizan las paradas por arranque de rejillas y lista de verificación de limpieza de la mezcladora para identificación del

cumplimiento de los estándares de limpieza por parte del Ingeniero de Procesos.

4.2 Recomendaciones

Tras culminar el presente proyecto, se presentan las siguientes recomendaciones primordiales:

- Alinear con todas las áreas involucradas en el proceso bajo estudio la ejecución del proyecto y la implementación de soluciones para evitar que los esfuerzos de un área puedan verse trasgredidos por las modificaciones implementadas por otra área.
- Durante la ejecución de un proyecto, siempre hacer uso de una matriz Impacto-Esfuerzo para optimizar los recursos invertidos por la empresa.
- Se recomienda generar un equipo multidisciplinario en el futuro que pudiera abarcar más aristas y que, por ende, se puedan proponer otro tipo de soluciones.

Referencias

- INEC. (2022). *ecuadorencifras*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/transporte/>
- Jiménez, H. F., & Amaya, C. L. (2014). Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052014000200012>
- Pushug, J., Ramírez, L., Simbaña, I., & Saquina, D. (2024). Powder Detergent Packaging Line Improvement by Lean Six Sigma DMAIC Methodology. *Enfoque UTE*. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.996>