

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

**Reducción del tiempo de mantenimiento de candados en una empresa de
seguridad de personas y activos**

INGE-2469

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros Industriales

Presentado por:

Altamirano Bajaña Rogger Josbel

Tirapez Moreno Josue Lenin

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

El presente proyecto se lo dedico a mi Madre, todo lo que soy y he logrado es un reflejo de tu amor incondicional, tu fortaleza y tus enseñanzas. Tu luz sigue guiando mis pasos y cada sueño cumplido llevan tu huella. Gracias por ser mi inspiración y mi fuerza, hoy y siempre. A mi Padre y Hermano, quienes, con su fortaleza, así como perseverancia han sostenido mi formación y crecimiento. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación, y por ser un ejemplo constante de trabajo arduo y resiliencia.

Rogger

Dedicatoria 2

Dedico este proyecto a mi madre, Gissela Moreno, quien siempre está a mi lado y ha encontrado la manera de apoyarme ante cualquier dificultad que se me presenta. Este logro de poder graduarme es gracias a ella.

A mis abuelos y a mi hermano, quienes me han acompañado en cada etapa universitaria brindándome apoyo y ayuda incondicional.

Y, por último, a mis tías, que, aunque no siempre están presentes, buscan cómo ayudarme ante cualquier situación en la que me encuentre.

Josue

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis profesores, por haberme guiado a lo largo de este viaje académico, no solo a través de sus enseñanzas, sino también por medio de su ejemplo y pasión por la excelencia, su impacto trasciende el aula y quedará grabado en cada paso de mi camino profesional. A mis amigos, de la universidad y de la vida, por ser fuente de renovación de mi espíritu y por la confianza o empuje de mi trabajo, no encuentro las palabras adecuadas para agradecerles lo suficiente. Y finalmente, pero no menos importante, a Dios por las bendiciones entregadas.

Rogger

Agradecimientos 2

Agradezco a mis abuelos, madre, hermano, tías y tíos, pero en especial a mi madre y a mi abuela por siempre apoyarme y asegurarse de que me encuentre en condiciones óptimas para cumplir con mis estudios y poder graduarme.

Agradezco también a mis amigos Joel y Ashley, a quienes conozco desde el colegio y que siempre han estado a mi lado para escucharme y apoyarme en mis momentos de estrés y angustia durante cada semestre.

Por último, agradezco a mis amigos de la universidad, quienes han contribuido a que mi experiencia universitaria sea mucho más enriquecedora: Rogger, Camila, Ariana, Andrés, Yuma, Emilia y Mallerly.

Josue

Declaración Expresa

Yo/Nosotros Rogger Josbel Altamirano Bajaña y Josue Lenin Tirapez Moreno acuerdo/acordamos y reconozco/reconocemos que:

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

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

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es 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.



Josue Lenin Tirapez
Moreno



Rogger Josbel Altamirano
Bajaña

Evaluadores

PhD. María Denise Rodríguez Zurita

Profesor de Materia

PhD. Jenny Pilar Gutiérrez López

Tutor de proyecto

Resumen

Este proyecto aborda la problemática del prolongado tiempo de mantenimiento de candados en una empresa de servicios de seguimiento de vehículos en Guayaquil, Ecuador. Dado que los candados representan el 70% de los ingresos de la empresa, la ineficiencia en su mantenimiento afecta directamente tanto la satisfacción del cliente como a variables financieras. A través de la metodología DMAIC, se identificaron y resolvieron las causas raíz de los retrasos, destacando la implementación de un sistema de priorización de órdenes basado en TOC, el establecimiento de un buffer de contingencia para gestionar la demanda, y la metodología 5S para eliminar desperdicios en el proceso. Estas mejoras fueron simuladas y se logró reducir el tiempo promedio de mantenimiento de 32 a 8,8 días. Además, la introducción de un buffer de contingencia aseguró que el plazo máximo de entrega fuera de 13 días laborables basado en la capacidad del sistema y el peor caso de demanda histórica. Por tanto, el proyecto logra cumplir sus objetivos al mejorar significativamente la eficiencia operativa y reducir el tiempo de mantenimiento lo que posiciona a la empresa en una mejor capacidad para responder a las demandas del mercado.

Palabras Clave: DMAIC, buffers, priorización, 5S, simulación.

Abstract

This project addresses the issue of prolonged maintenance times for locks in a vehicle tracking services company in Guayaquil, Ecuador. Since locks represent 70% of the company's revenue, inefficiencies in their maintenance directly impact both customer satisfaction and financial performance. Through the DMAIC methodology, the root causes of the delays were identified and resolved, with key improvements including the implementation of a TOC-based order prioritization system, the establishment of a contingency buffer to manage demand, and the 5S methodology to eliminate waste in the process. These improvements were simulated, achieving a reduction in the average maintenance time from 32 to 8.8 days. Additionally, the introduction of a contingency buffer ensured a maximum delivery time of 13 working days, based on system capacity and worst-case historical demand. Therefore, the project successfully met its objectives by significantly improving operational efficiency and reducing maintenance times, positioning the company to better respond to market demands.

Keywords: *DMAIC, buffers, prioritization, 5S, simulation.*

Índice general

Resumen.....	I
Abstract.....	II
Índice general.....	III
Abreviaturas.....	V
Índice de figura.....	VI
Índice de tablas.....	VIII
Capítulo 1.....	1
1 Introducción.....	2
1.1 Descripción del Problema.....	3
1.2 Requerimientos.....	4
1.3 Variables de interés.....	7
1.4 Planteamiento del problema.....	8
1.5 Métricas de sostenibilidad.....	8
1.6 Alcance del Proyecto.....	10
1.7 Mapeo del proceso.....	10
1.8 Plan de recolección de datos.....	14
1.9 Restricciones.....	16
1.10 Justificación del problema.....	16
1.11 Objetivos.....	16
1.12 Marco teórico.....	17
Capítulo 2.....	19
2 Metodología.....	20
2.1 Medición.....	20
2.2 Análisis.....	31
2.3 Mejorar.....	50
2.4 Implementar y Controlar.....	54
2.5 Plan de implementación.....	64
Capítulo 3.....	67
3 Resultados y análisis.....	68

3.1	Resultado de la simulación	68
3.2	Análisis de resultados	74
3.3	Control	78
Capítulo 4	81
4	Conclusiones	82
4.1	Conclusiones	82
4.2	Recomendaciones	84
Referencias	86
Anexos	87

Abreviaturas

CTQ	Crítico para la Calidad
SIPOC	Proveedores, Entradas, Procesos, Salidas y Clientes
VOC	Voz del Cliente
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
TBL	Triple Bottom Line
ONU	Organización de las Naciones Unidas
DMAIC	Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar
TOC	Teoría de Restricciones
OTIDA	Operación, Transporte, Inspección, Demora, Almacenaje

Índice de figura

Figura 1 Línea base del tiempo del proceso de mantenimiento de candados	4
Figura 2 VOC del supervisor de producción y operadores.....	5
Figura 3 VOC del director, servicio al cliente, ejecutiva, back office y gerente de taller	6
Figura 4 Árbol CTQ (Critical to Quality).....	7
Figura 5 Diagrama SIPOC del proceso del mantenimiento de candados	10
Figura 6 Diagrama de flujo funcional de proceso de mantenimiento de candados	11
Figura 7 OTIDA del proceso de mantenimiento operativo llevado por un trabajador	13
Figura 8 Plan de recolección de datos	15
Figura 9 Datos recolectados del tiempo del proceso de mantenimiento de candados	21
Figura 10 Resultados de porcentaje de candados despachados menor a 10 días.....	21
Figura 11 Cantidad de candados reparados o desechados	22
Figura 12 Tiempo de espera en cola de los candados.....	23
Figura 13 Tiempo de retrasos detectados en la operación.....	23
Figura 14 Diagrama de caja de entre datos recolectados y base de datos de la empresa	24
Figura 15 Cantidad de candados por tipo	25
Figura 16 Gráfica de intervalo entre los tiempos por tipo de candado	26
Figura 17 Diagrama de Pareto por clientes en base a la cantidad de candados S.....	26
Figura 18 Gráfica de Intervalos del tiempo de mantenimiento por grandes y pequeños clientes	27
Figura 19 Gráfica de Intervalo del tiempo de mantenimiento por tipo de dispositivo	28
Figura 20 Gráfica de Intervalos del tiempo de mantenimiento por operadores.....	29
Figura 21 Carta de Control X-S del proceso.....	31
Figura 22 Diagrama de Ishikawa de potenciales causas.....	32
Figura 23 Ponderación de calificación de causas	33
Figura 24 Matriz de ponderación de causas por actores.....	33
Figura 25 Diagrama de Pareto de causas	36
Figura 26 Matriz Impacto Control para la selección de causas	38
Figura 27 Plan de verificación de causa potenciales	39

Figura 28	Resultado de pruebas de mediana de Mann-Whitney para la causa potencial X3	42
Figura 29	Resultado de pruebas de mediana de Mann-Whitney para la causa potencial X4	43
Figura 30	Resultado de pruebas de mediana de Mann-Whitney para la causa potencial X5	44
Figura 31	Resultado de pruebas de mediana de Mann-Whitney para la causa potencial X6	45
Figura 32	Carta de Control de frecuencia de arribo de candados	46
Figura 33	Obtención de causa raíz de la variable X1 usando herramienta 5 porqués	47
Figura 34	Obtención de causa raíz de la causa potencial X2 usando herramienta 5 porqués	47
Figura 35	Obtención de causas raíz de la causa potencial X5 usando herramienta 5 porqués	48
Figura 36	Obtención de causas raíz de la causa potencial X7 usando herramienta 5 porqués	48
Figura 37	Obtención de causas raíz de la causa potencial X8 usando herramienta 5 porqués	49
Figura 38	Soluciones potenciales propuestas	50
Figura 39	Solución para cada causa raíz.....	54
Figura 40	Pasos de desarrollo del sistema de liberación de órdenes de mantenimiento	55
Figura 41	Descomposición del problema parte 1	58
Figura 42	Descomposición del problema parte 2	58
Figura 43	Descomposición del problema parte 3	59
Figura 44	Pasos para la implementación de buffers	62
Figura 45	Plan de implementación para las soluciones seleccionadas	66
Figura 46	Simulación de la situación actual	68
Figura 47	Número de corridas para la solución 1	70
Figura 48	Comparación del tiempo promedio del proceso de la solución 1 vs el tiempo actual	70
Figura 49	Número de corridas para la solución 1 y 2.....	72
Figura 50	Comparación del tiempo promedio del proceso de la solución 1 y 2 vs el actual.....	72
Figura 51	Número de corridas para la solución 1, 2 y 3.....	73
Figura 52	Comparación del tiempo promedio del proceso de la solución 1 y 2 vs el tiempo actual.....	73
Figura 53	Diagrama de probabilidad normal de los resultados del escenario con soluciones 1, 2 y 3.....	75

Figura 54 Diferencias entre las medias del modelo actual y del modelo mejorado	76
---	----

Índice de tablas

Tabla 1 Herramienta 3W + 2H para definir el problema	8
Tabla 2 Análisis de valor agregado del proceso operativo de mantenimiento de candados	14
Tabla 3 Causas potenciales identificadas con el diagrama Pareto	36
Tabla 4 Causas potenciales mayor impacto-Alto control	38
Tabla 5 Causas raíz del problema	49
Tabla 6 Criterios para selección de soluciones	51
Tabla 7 Selección de soluciones (Parte 1)	52
Tabla 8 Selección de soluciones (Parte 2)	53
Tabla 9 Consideraciones iniciales para el modelo de asignación	57
Tabla 10 Resultados obtenidos en los diferentes tipos de escenarios	74
Tabla 11 Plan de control de las soluciones	78

Capítulo 1

1 Introducción

En los últimos años, Ecuador ha experimentado una preocupante ola de delitos que ha generado inquietud en la ciudadanía y ha afectado al comercio en el país. Como resultado de este incremento en la criminalidad, las industrias dedicadas a la provisión de servicios han visto un aumento en la demanda de sus productos y servicios, tanto en ventas como en alquileres.

Entre los productos más comunes que ofrecen estas agencias se encuentran los sistemas de seguimiento de vehículos, los cuales garantizan el rastreo de la carga y permiten detectar cualquier irregularidad en el recorrido. El presente proyecto se desarrolla en una empresa que se enfoca a brindar estos servicios y productos en la ciudad Guayaquil, Ecuador. Unos de los productos destacados que maneja la empresa son los "candados", dispositivos que permiten identificar, cerrar y dar seguimiento a los contenedores o camiones, garantizando así la seguridad y monitoreo de la carga.

El proceso de mantenimiento de candados es crucial para la empresa, ya que forma parte de una línea de productos que genera ingresos significativos. Además, los candados son esenciales para las operaciones de nuestros clientes, lo que hace que cualquier ineficiencia en su mantenimiento tenga un impacto directo tanto en la satisfacción del cliente como en los resultados financieros. Sin embargo, este proceso presenta varios desafíos. Uno de los más importantes es el costo asociado al tiempo de inactividad que los clientes demandan cuando sus candados permanecen demasiados días en mantenimiento. Asimismo, el sistema muestra una alta variabilidad debido a la complejidad de los procesos involucrados y a los patrones de demanda intermitentes o desiguales.

Este proyecto se centra en la reducción de los tiempos de mantenimiento de los candados para eliminar estas ineficiencias. Actualmente, el taller de reparación enfrenta tiempos de devolución considerablemente largos, lo que no solo genera insatisfacción en los clientes, sino también pérdidas económicas para la empresa. Mediante la recopilación de las necesidades de los clientes internos, la definición de indicadores críticos, y la identificación de deficiencias y cuellos de botella, este proyecto busca reducir el lead time en el proceso de mantenimiento de candados, mejorando así tanto la eficiencia operativa como la experiencia del cliente.

1.1 Descripción del Problema

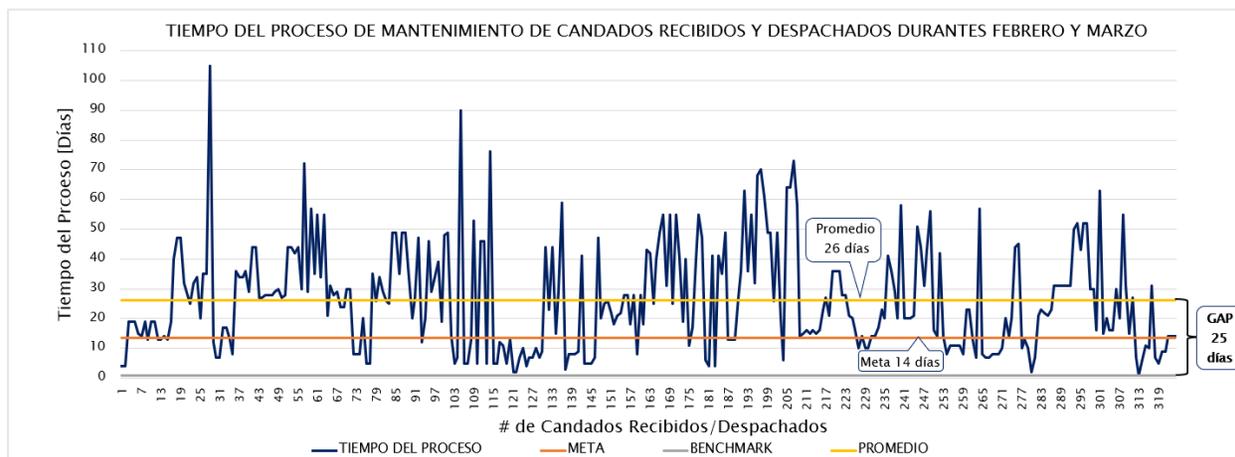
Este proyecto surge de la necesidad de una empresa que ofrece servicios y productos para el seguimiento de vehículos livianos y de carga. La empresa busca reducir el tiempo de mantenimiento de uno de sus productos, ya que los tiempos actuales son demasiado prolongados.

La empresa ofrece una variedad de productos para el aseguramiento y seguimiento de vehículos de carga, entre los que se incluyen candados, arcas, vehículos de carga y monitoreo. Sin embargo, este proyecto se centrará en los candados, ya que estos representan el 70% de los ingresos de la familia de productos "Carga".

En la Figura 1 se observa el tiempo de mantenimiento de los candados recibidos y despachados durante febrero y marzo de 2024. El objetivo de la empresa es entregar un candado en un plazo de 1 a 3 días; sin embargo, en la figura se puede ver que algunos candados pueden permanecer en el taller por más de 30 días. El análisis muestra que el tiempo de mantenimiento promedio es de 26 días. A pesar de esto, se evidencia que algunos candados han sido despachados en solo 1 día, teniendo un GAP de 25 días.

Figura 1

Línea base del tiempo del proceso de mantenimiento de candados



1.2 Requerimientos

Para definir de manera clara y precisa el problema a abordar, es fundamental identificar a los actores clave involucrados en el proceso de mantenimiento de candados. Cada uno de estos actores, con sus roles y responsabilidades específicas, contribuye de manera significativa a la comprensión integral del problema. Los actores considerados en este análisis son: el supervisor de producción, el servicio al cliente, el gerente del taller, el back office, los operadores y el director de investigación.

El supervisor de producción tiene un papel fundamental en la identificación de las necesidades internas del proceso, dado que tanto él como los operadores están directamente involucrados en las operaciones diarias relacionadas con el mantenimiento de candados. Su perspectiva es crucial para captar los desafíos y las áreas de mejora desde la línea de producción.

Por otro lado, los demás actores, aunque no están en contacto directo con las operaciones, también son esenciales para una comprensión holística del problema. Sus interacciones con el proceso de reparación de candados, especialmente desde el punto de vista administrativo, ofrecen

valiosos insights que ayudan a identificar cómo las distintas áreas de la empresa contribuyen o se ven afectadas por las ineficiencias en el mantenimiento de los candados. Recoger sus opiniones es clave para abordar el problema de manera integral y desarrollar soluciones efectivas que consideren todas las perspectivas involucradas.

Una vez identificados los actores claves, se realiza un análisis de la Voz del Cliente (VOC), con el objetivo de determinar, recopilar y analizar las opiniones de los clientes relacionados al proceso de mantenimiento, todo esto se puede observar en la Figura 2 y Figura 3.

Figura 2

VOC del supervisor de producción y operadores

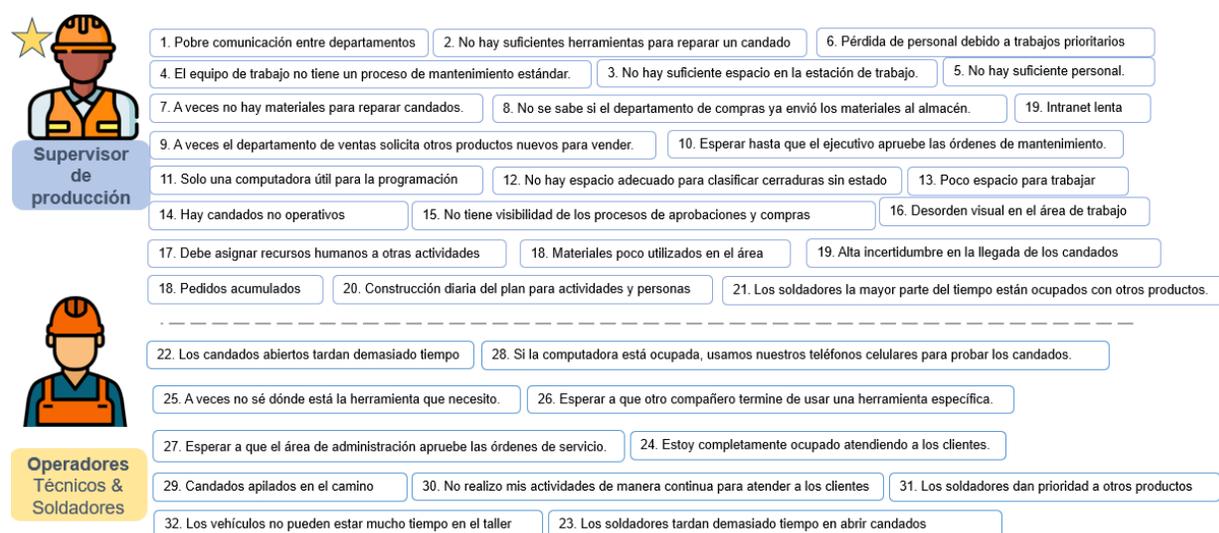
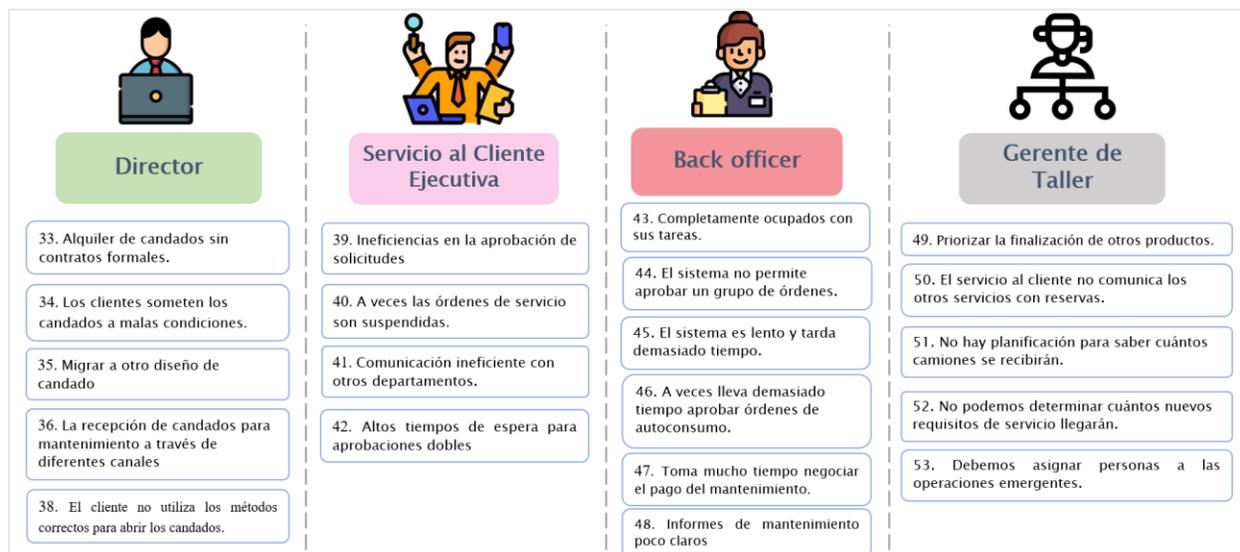


Figura 3

VOC del director, servicio al cliente, ejecutiva, back office y gerente de taller



Tras un análisis de los comentarios de los actores claves, se identifican las siguientes ideas como la más relevantes para abordar el problema:

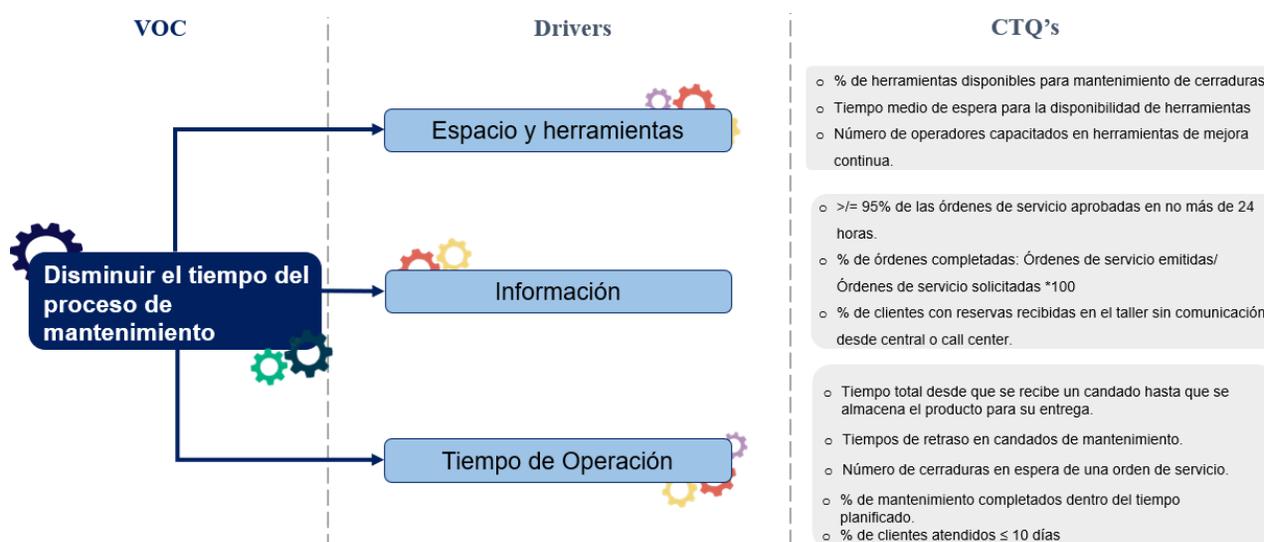
- Se prioriza la finalización de otros productos en vez de los candados.
- Distribuye personal a otras operaciones por priorizar otros productos.
- Espera por disponibilidad de herramienta.
- Pobre comunicación entre departamentos.
- No existe suficiente espacio en las estaciones de trabajo.

Posterior a la recopilación de las ideas brindadas por los actores, se procede a la clasificación mediante la herramienta diagrama de afinidad, teniendo como resultado tres dimensiones (Tiempo de Operación, Información y Herramientas, y Espacio).

Finalmente, como se observa en la Figura 4 se obtiene los indicadores críticos para cada una de las dimensiones a través del árbol CTQ (Critical to Quality).

Figura 4

Árbol CTQ (Critical to Quality)



1.3 Variables de interés

Analizando el árbol CTQ se obtiene la variable de interés a estudiar en el proyecto, siendo esta "Tiempo del Proceso de Mantenimiento de Candados", mostrándose en la ecuación

1.1

(1. 1)

$$Y [\text{days}] = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6$$

X_1 = Tiempo de recepción.

X_2 = Tiempo de aprobación de orden de servicio.

X_3 = Tiempo de desensamble de candado.

X_4 = Tiempo de aprobación de orden de material.

X_5 = Tiempo de reparación de candado.

X_6 = Tiempo de ensamble de candado.

De igual manera se considera los tiempos de esperas que existen internamente en el proceso de mantenimiento de candados.

1.4 Planteamiento del problema

Mediante el uso de la herramienta 3W+2H, se realizó el planteamiento del problema, como se aprecia en la Tabla 1:

Tabla 1

Herramienta 3W + 2H para definir el problema

¿Qué?	Largos tiempos en el tiempo en el proceso de mantenimiento de candados
¿Cuándo?	Durante el mes de febrero y marzo del 2024
¿Dónde?	En el taller de operación de Pascuales
¿Cuánto?	El tiempo promedio de mantenimiento para un candado es de 26 días
¿Cómo lo sé?	La empresa ha establecido que la entrega de los candados para mantenimiento es entre 1 y 3 días.

Teniendo como resultado el planteamiento del problema de la siguiente forma: “Durante los meses de febrero y marzo de 2024, en el taller de operaciones de Pascuales, se han detectado tiempos altos en el proceso de mantenimiento de candados, donde el tiempo promedio actual del proceso es de 26 días, a pesar de que la empresa ha establecido que la entrega de los candados para mantenimiento es entre 1 y 3 días.”

1.5 Métricas de sostenibilidad

El proyecto, además de estar enfocado en la mejora interna del proceso, también está alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible promovidos por la ONU, específicamente con el Objetivo 8, que busca promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, así

como el empleo y el trabajo decente para todos. Asimismo, se definieron métricas de sostenibilidad, asociadas a dimensiones llamadas Triple bottom line (TBL), para utilizar en el proyecto.

- **Dimensión económica:** La empresa tiene una política según la cual, si los candados no se entregan en un plazo de 10 días, se proporciona una nota de crédito al cliente. De este modo, al aumentar el porcentaje de candados entregados a tiempo, la empresa reduce la cantidad de notas de crédito emitidas a sus clientes.

$$\% \text{ candados entregados a tiempo} = \frac{\text{Candados entregados en máximo 10 días}}{\text{Total de candados entregados}} * 100 \quad (1.2)$$

- **Dimensión social:** Se propuso desarrollar un indicador para evaluar cuántos colaboradores están capacitados sobre el uso de herramientas de mejora continua sobre el total de la población del área que opera los temas de reparación de candados, con el objetivo de promover esta cultura.

$$\% \text{ de trabajadores capacitados} = \frac{\text{Número de trabajadores capacitados}}{\text{Población total}} * 100 \quad (1.3)$$

- **Dimensión Ambiental:** La permanencia de candados sin reparar en la bodega tiene un impacto negativo en el medio ambiente debido a los componentes electrónicos que contienen. Para abordar este problema, se ha establecido un indicador para reducir la cantidad de candados obsoletos y elementos vencidos en la bodega.

$$\% \text{ de candados obsoletos} = \frac{\text{Número de candados obsoletos}}{\text{Inventario Total}} * 100 \quad (1.4)$$

1.6 Alcance del Proyecto

La elaboración del diagrama de proveedores (S), entradas (I), proceso (P), salidas (O) y clientes (C), SIPOC ayudó a identificar aspectos importantes de cada etapa del proceso interno, analizando proveedores, información o material entrante y saliente, y clientes en cada fase. Con esto, el SIPOC se centró en el proceso desde la recepción de candados defectuosos por parte de los clientes hasta su reparación y entrega al cliente o a la bodega como se observa en la Figura 5.

Figura 5

Diagrama SIPOC del proceso del mantenimiento de candados

SUPPLIERS	INPUTS	PROCESS	OUTPUTS	COSTUMERS
Cientes	Hoja de especificaciones del candado Candados	RECEPCIÓN	Orden de servicio Candados inspeccionados	Producción
Producción	Orden de servicio Candados inspeccionados Habilidades del operador Herramientas	INSPECCIÓN	Diagnostico Solicitud de orden de materiales Reporte Técnico Pieza defectuosa	Ejecutivos
Ejecutivo	Solicitud de pedido de material Reporte técnico	NEGOCIACIÓN	Solicitud de pedido de material aprobada	Bodega
Bodega	pieza defectuosa Solicitud de pedido de material	REPUESTOS	Nueva pieza Registro de salida de piezas nuevas en el sistema.	Producción
Producción	Nueva pieza Habilidades del operador Herramientas	REPARAR	Candado Reparado Registro del sistema de Cuadro de mantenimiento	SAC/Bodega
SAC/Bodega	Notificación de retiro de PadLock Registro del sistema de gráficos de mantenimiento	DESPACHO	Candado Reparado Registro del sistema de cuadro de mantenimiento Documento de entrega	Cientes

1.7 Mapeo del proceso

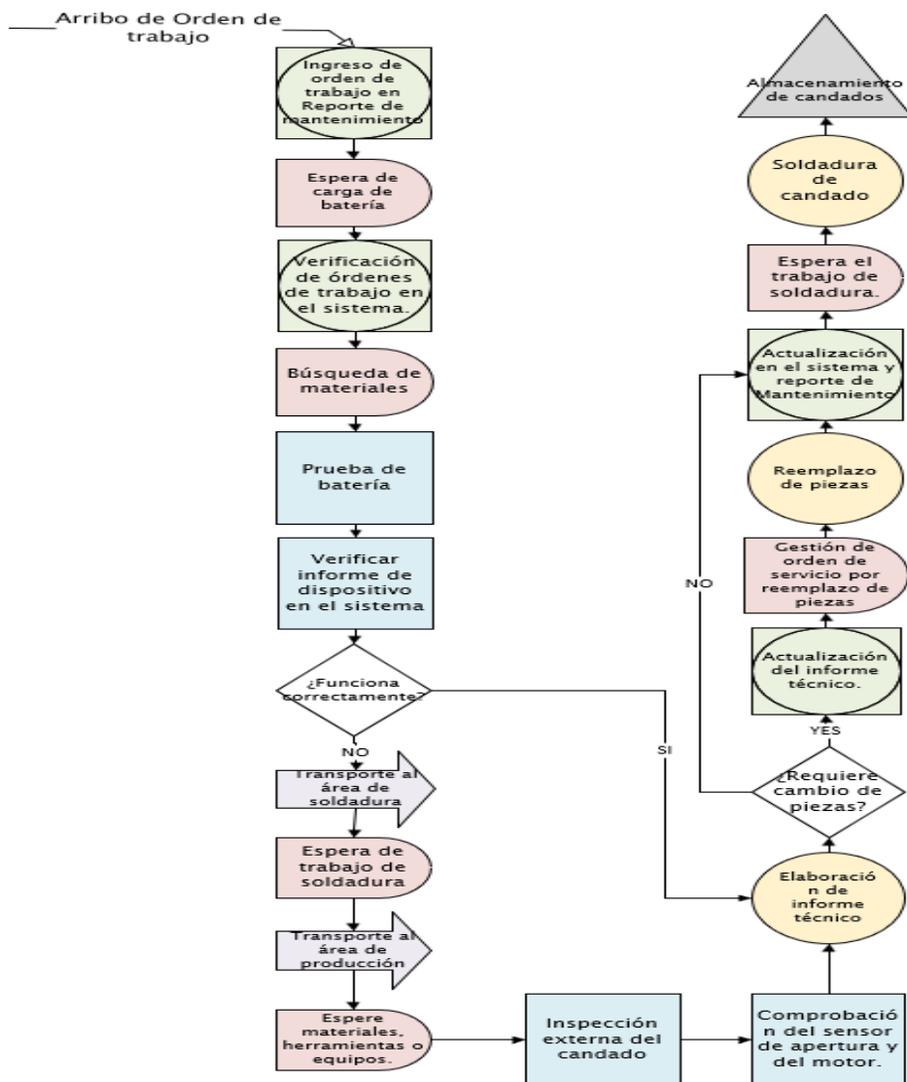
Para analizar posibles deficiencias, cuellos de botella, actividades innecesarias y procesos ocultos que no agregan valor, se validan todas las actividades realizadas durante el proceso de mantenimiento de un candado. Estas actividades se pueden visualizar en detalle en el diagrama de flujo funcional mostrado en la Figura 6.

- Altos tiempos de aprobación de órdenes de auto consumo para reparación de candados.

El proceso OTIDA elaborado muestra las operaciones ejecutadas por uno de los colaboradores responsables de la reparación. Además, se evalúan los cuellos de botella, las fábricas ocultas, las actividades que no agregan valor, pero son necesarias, y las actividades que sí agregan valor. Estos aspectos se detallan en la Figura 7.

Figura 7

OTIDA del proceso de mantenimiento operativo llevado por un trabajador



Durante el análisis, se encontraron la siguiente fábrica ocultas y cuello de botella:

- **Fábrica oculta:** Uso de materiales/componente antes de la aprobación de la orden de materiales para avanzar en el trabajo de un lote de candados semiacabados.
- **Cuello de botella**

- Esperas por servicio de soldadura.
- Espera por disponibilidad de herramientas de trabajo.

Además, se obtuvo que apenas el 14% de las actividades del proceso agregan valor, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Análisis de valor agregado del proceso operativo de mantenimiento de candados

Agregan Valor		No Agrega Valor		No Agrega Valor, pero es necesaria	
		Demoras	6		
Operaciones	3	Transporte	2	Inspección	8
		Almacenamiento	1		
		Decisión	2		
AV	14,00%	NAV	50,00%	NAVN	36,00%

1.8 Plan de recolección de datos

Se ha desarrollado un plan de recolección de datos para las variables previamente definidas en el CTQ y las métricas de sostenibilidad (Figura 8). Este plan detalla información clave para cada variable, como el tipo de variable, el periodo de recolección, los factores de estratificación, el método de recolección, entre otros detalles relevantes.

Figura 8

Plan de recolección de datos

¿Qué?						¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Cómo?	¿Porqué?	¿Quién?	Estado
Variable	Significado Operacional	Unidad de Medición	Tipo de Dato	Tamaño de muestra	Factores de Estratificación	Fecha	Punto de origen	Método de recolección	Uso Futuro	Persona a cargo	
Y	Tiempo del proceso de mantenimiento de candados	Días	Discreto	El tamaño de la muestra no es necesario, se tomará datos completos de la operación actual	Por operador	Desde junio 2024 hasta Julio 2024	Taller de mantenimiento	Uso de informes de producción mensuales.	Conocer el estado real de la variable de respuesta	Líderes de proyecto	Completado
					Por tipo de Candado						
					Por empresa						
					Por tipo de dispositivo						
X1	Porcentaje de candados entregados a tiempo	Porcentaje	Continuo		-		Área de producción	Uso de informes de producción mensuales.	Evaluar el pilar económico del proyecto	Líderes de proyecto	Completado
X2	Porcentaje de trabajadores capacitados en metodologías	Porcentaje	Continuo		-		Área de producción	Entrenamientos	Evaluar el pilar social del proyecto	Líderes de proyecto	Completado
X3	Porcentaje de obsolescencia de candados	Porcentaje	Continuo		.		Área de producción	Observación directa	Evaluar el pilar Ambiental del proyecto	Líderes de proyecto	Completado
X4	Tiempo de espera de candados en Cola	Horas	Continuo		.		Área de producción	Observación directa	Reducir el tiempo de espera de candados	Líderes de proyecto	Completado
X5	Retrasos en el proceso de mantenimiento de candados	Horas	Continuo		Debido a falta de materiales		Área de producción	Observación directa	Identificar el tiempo total de retrasos en el mantenimiento de candados	Líderes de proyecto	Completado
					Debido a búsqueda de herramientas/materiales						
				Debido a otros trabajos							
				Debido a falta de herramientas							
				Debido a falta de documentación							
				Debido a absentismo							
				Otros							

1.9 Restricciones

- Variabilidad en fallas de candados
- Presupuesto limitado para implementación de mejoras

1.10 Justificación del problema

La familia de productos “Cargo” se posiciona como la tercera categoría que genera mayor rentabilidad dentro de la facturación de la empresa. Dentro de esta familia se tiene que, los candados representan el 70% de ingresos para esta categoría.

Los altos tiempos de mantenimiento de los candados generan inconvenientes para los clientes, y de igual manera repercuten en las finanzas de la empresa, dado que, si la entrega de un candado en mantenimiento supera los 10 días laborales, por obligación deben emitir una nota de crédito a los clientes, lo que implica una reducción en los ingresos y una potencial pérdida de satisfacción.

1.11 Objetivos

1.11.1 Objetivo general

- Disminuir en 12 días el tiempo promedio del proceso de mantenimiento de candados (de 26 a 14 días), lo que representa un GAP del 50%, mediante el uso de herramientas de mejora continua durante los próximos 4 meses.

1.11.2 Objetivos específicos

- Definir y documentar claramente el problema y los objetivos del proyecto.
- Establecer métricas de evaluación que midan el impacto del proceso de mantenimiento de candados en términos de sostenibilidad.
- Identificar las causas fundamentales de los retrasos en el proceso de mantenimiento de un candado.

- Desarrollar e implementar soluciones para reducir el tiempo de mantenimiento de candados.
- Sugerir controles para mantener las mejoras y garantizar que se mantenga un tiempo de mantenimiento reducido.

1.12 Marco teórico

El tiempo de respuesta en un servicio es uno de los aspectos más importantes para evaluar la calidad de un proceso de servicio. Según González (2021) en su tesis de grado indica que todos los desperdicios intrínsecamente relacionados con los servicios de reparación o mantenimiento de un producto provocan altos tiempos de entrega y, en consecuencia, merman la relación de confianza con el cliente. Además, señala que la implementación de metodologías Lean contribuye a mejorar el desempeño en estos procesos, reduciendo tiempos y aumentando la eficiencia.

Six Sigma, como una metodología Lean comprobada, impulsa mejoras radicales en el rendimiento mediante el análisis detallado de procesos. Este enfoque sistemático resuelve problemas de manera eficaz, logrando mejoras en calidad y productividad (Nandakumar et al., 2020). Segura (2017) señala que la base de esta metodología es el ciclo DMAIC, compuesto por las etapas de definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Este ciclo tiene un enfoque de mejora continua, buscando reducir la variabilidad y tener de mejor forma el control de un proceso.

Para abordar la variabilidad y los desperdicios, DMAIC incorpora conceptos como la Teoría de las Restricciones (TOC). Esta teoría se basa en identificar y gestionar el cuello de botella de un sistema, ajustando la producción o servicio según la urgencia y capacidad. Esto

mejora el cumplimiento de plazos de entrega y optimiza el uso de recursos limitados (Lee et al., 2010).

Una estrategia clave en la gestión de la variabilidad son los buffers o amortiguadores, que las empresas emplean para absorber la incertidumbre y mitigar los efectos negativos en la producción. En sistemas de fabricación bajo pedido (similar a los servicios), se pueden utilizar buffers de inventario, tiempo o capacidad, lo que permite a las empresas ser más flexibles y responder a cambios en la demanda o problemas operativos, minimizando retrasos y garantizando un nivel adecuado de servicio al cliente (Caputo, 1996)

Finalmente, la metodología 5S, enfocada en la organización y el mantenimiento de un entorno de trabajo eficiente, se compone de cinco pasos: Seiri (Clasificar), Seiton (Ordenar), Seiso (Limpiar), Seiketsu (Estandarizar) y Shitsuke (Sostener) (Filip & Marascu-Klein, 2015). La implementación de 5S no solo reduce desperdicios y optimiza el espacio, sino que también mejora la productividad y crea un ambiente de trabajo más seguro y adecuado. Al facilitar la búsqueda de herramientas y reducir movimientos y tiempos de espera, se mejora la eficiencia operativa. (Rizkya et al., 2019)

Capítulo 2

2 Metodología

En la metodología DMAIC, la siguiente etapa es la de Medición. En esta fase se lleva a cabo la recolección de datos de forma que se obtenga una fuente confiable de información. El objetivo es enfocar el problema con precisión. La fase de Analizar se centra en encontrar y determinar las causas raíz del problema en cuestión, así como en identificar posibles soluciones para mitigarlo.

2.1 Medición

En esta fase se lleva a cabo la recolección de datos para obtener una fuente confiable de información. Esta información permitirá analizar las causas potenciales que afectan a la variable de respuesta "Y".

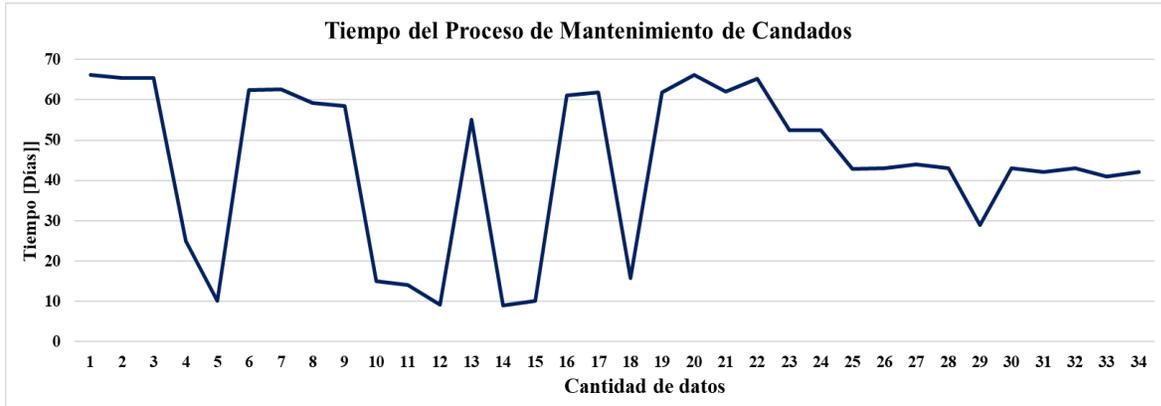
2.1.1 Recolección de datos

El capítulo previo, en la sección 1.8 de plan de recolección de datos se explica la forma que se recolecta la información que se detalla en la Figura 9.

Debido a la falta de información, se recopiló toda la información detallada en el plan de recolección de datos. La variable de respuesta, tiempo del proceso de mantenimiento, presenta una alta variabilidad debido a diversos retrasos y a la falta de un proceso secuencial para la reparación de candados. Esto dificultó la toma de tiempos durante el período de recolección, en el que se solo se logró medir un total de 34 candados, presentados a continuación.

Figura 9

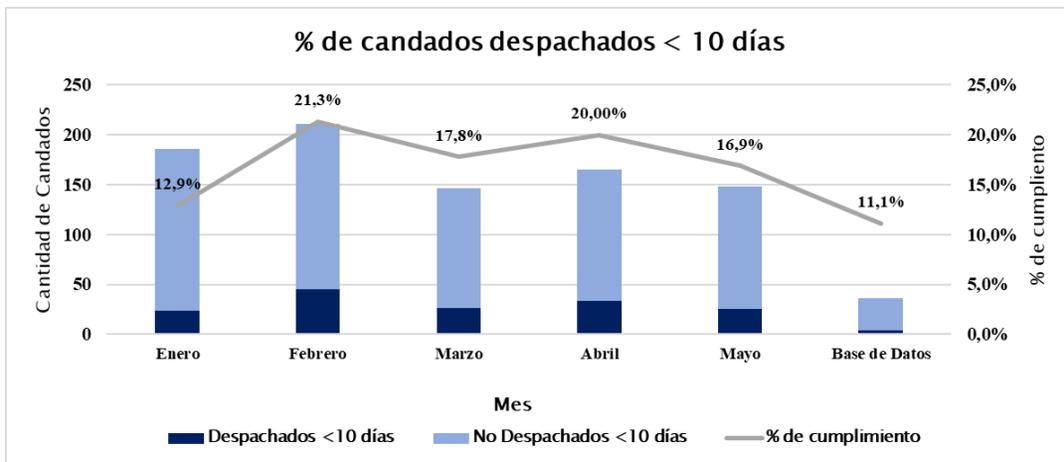
Datos recolectados del tiempo del proceso de mantenimiento de candados



Para analizar el porcentaje de candados entregados en menos de 10 días, variable relacionada con el indicador económico, se elaboró un diagrama de barras utilizando la base de datos de la empresa y los datos recopilados, de forma que se obtuvo lo que se muestra en la Figura 10.

Figura 10

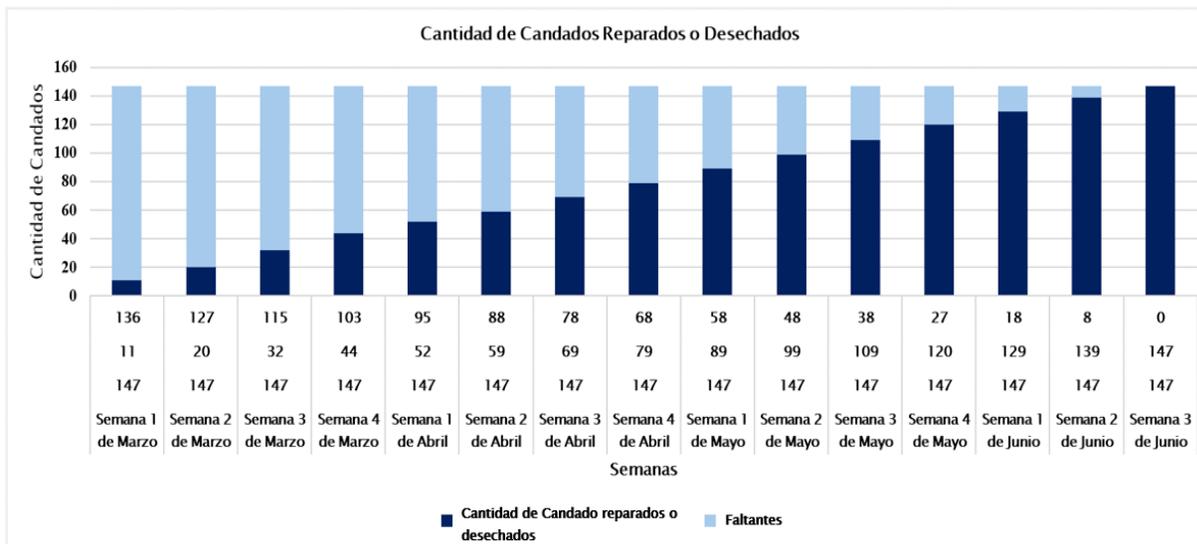
Resultados de porcentaje de candados despachados menor a 10 días



Para analizar la variable ambiental, se empleó la base de datos del supervisor de producción que registra los candados reparados durante los últimos tres meses. En este período, se identificaron 143 candados como no operativos. Para visualizar el avance de la reparación de estos candados obsoletos, se elaboró un diagrama de barras. La información se presenta en la Figura 11.

Figura 11

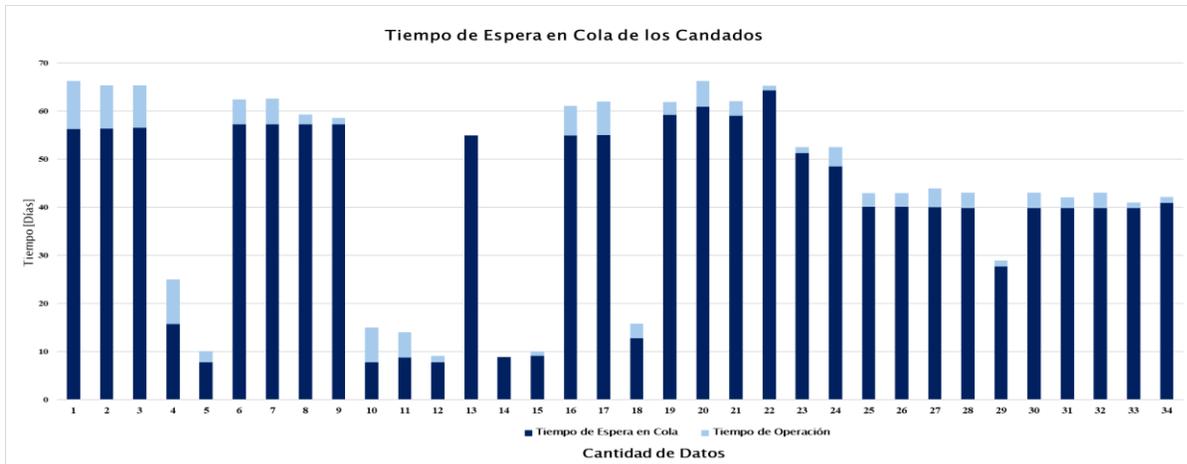
Cantidad de candados reparados o desechados



Para analizar la variable del tiempo de espera, se utilizó la base de datos con la información recopilada. La representación de este tiempo se realizó mediante un diagrama de barras. La información se detalla en la Figura 12.

Figura 12

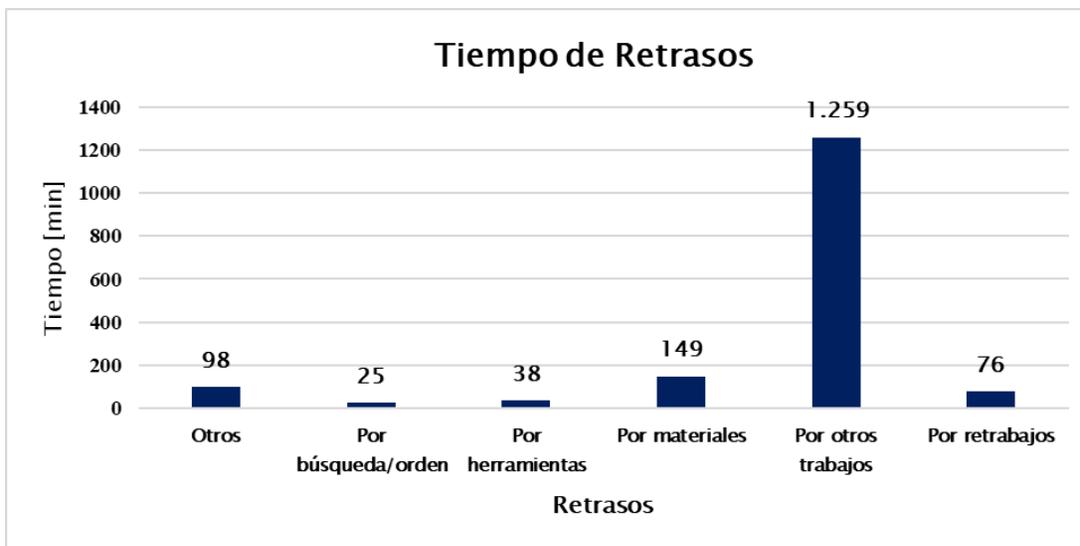
Tiempo de espera en cola de los candados



Por último, se analizó la variable de retrasos en la operación. Esta información no estaba disponible en la base de datos de la empresa, por lo que se recopiló. La representación de esta información se realizó mediante un diagrama de barras. La información se detalla en la Figura 13.

Figura 13

Tiempo de retrasos detectados en la operación



2.1.2 Verificación de datos

La base de datos de la empresa almacena información sobre las fechas de entrada y salida de los candados, lo que permite determinar el tiempo total del proceso de mantenimiento. La fórmula de tamaño de muestra indica que se requieren al menos 64 datos para realizar un análisis adecuado. Sin embargo, debido a la naturaleza del proceso, solo se recolectaron 34 datos. Adicionalmente, se recopiló información sobre los retrasos en el entorno de producción y los tiempos entre cada etapa del proceso.

Con el fin de verificar la confiabilidad de los datos, se realizó una comparación de medias. Las hipótesis planteadas fueron las siguientes:

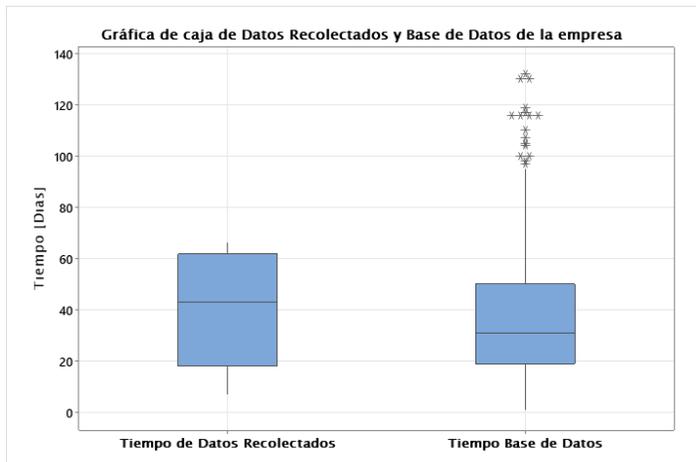
H₀: No existe diferencia de medias entre bases de datos

H₁: $\neg H_0$

Se concluyó que, al obtener un valor p de 0,229, se acepta la hipótesis nula. Esto implica que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de la base de datos de la empresa y la base de datos recolectada, véase Figura 14.

Figura 14

Diagrama de caja de entre datos recolectados y base de datos de la empresa

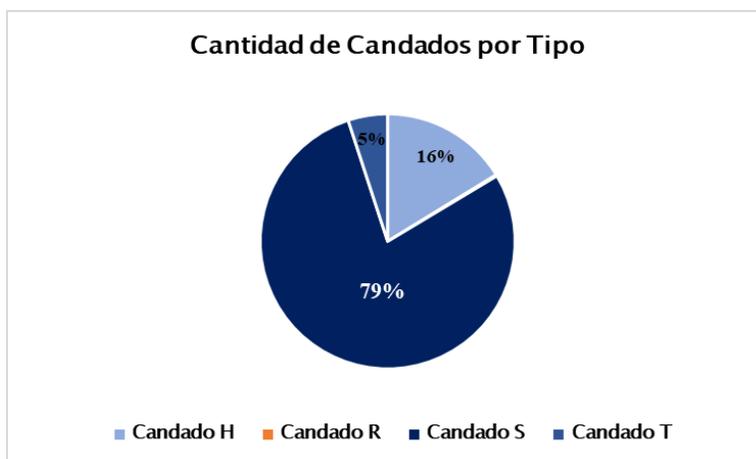


2.1.3 Estratificación

El proceso de mantenimiento de candados se divide en estratos debido a la existencia de diversos factores: tipos de candados, tipos de dispositivos, tamaño de la clientela y las habilidades y tareas específicas de los operarios. En primer lugar, se realizó una diferenciación entre los tipos de candados, como se muestra en la Figura 15. En base a esto se determina que los tipos S y H son los más utilizados por la empresa.

Figura 15

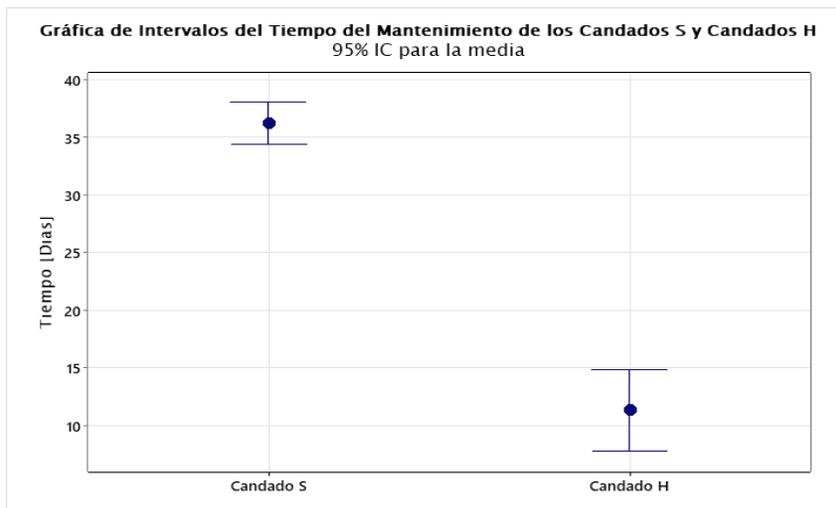
Cantidad de candados por tipo



Tras determinar los tipos de candados más representativos, se elaboró un diagrama de intervalos para ilustrar los tiempos de mantenimiento de cada tipo de candado. Como se observa en la Figura 16, los candados tipo S presentan un mayor tiempo de mantenimiento en comparación con los candados tipo H.

Figura 16

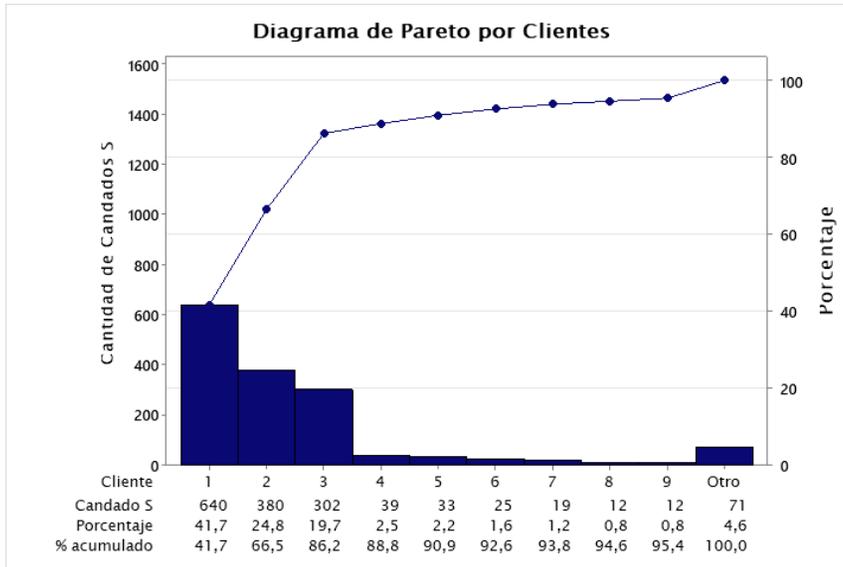
Gráfica de intervalo entre los tiempos por tipo de candado



A partir de este análisis, se elaboró un diagrama de Pareto para identificar a los clientes con la mayor proporción de candados tipo S. Los resultados se muestran en la Figura 17, donde se observa que las tres primeras empresas poseen la mayor cantidad de candados de este tipo, por lo que se las considera grandes clientes.

Figura 17

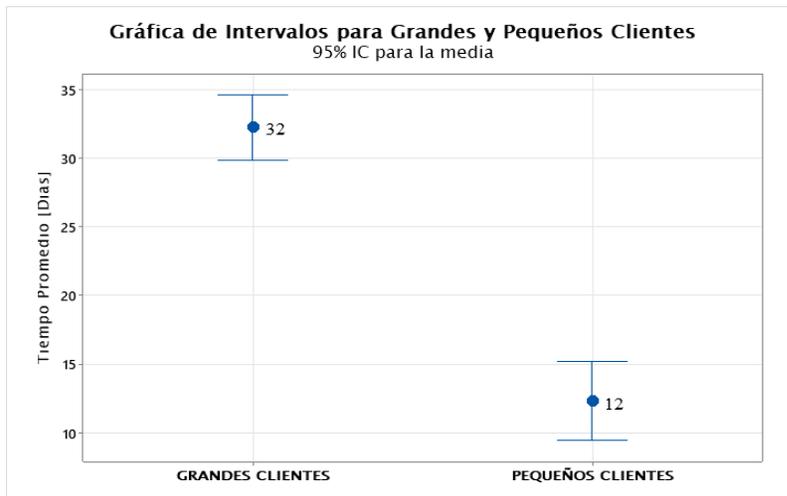
Diagrama de Pareto por clientes en base a la cantidad de candados S



Tras identificar a los clientes con mayor cantidad de candados tipo S, se elaboró un diagrama de intervalos para analizar las diferencias en los tiempos de mantenimiento. Los resultados se muestran en la Figura 18, donde se observa que el tiempo de mantenimiento de los grandes clientes es superior al de los pequeños clientes.

Figura 18

Gráfica de Intervalos del tiempo de mantenimiento por grandes y pequeños clientes



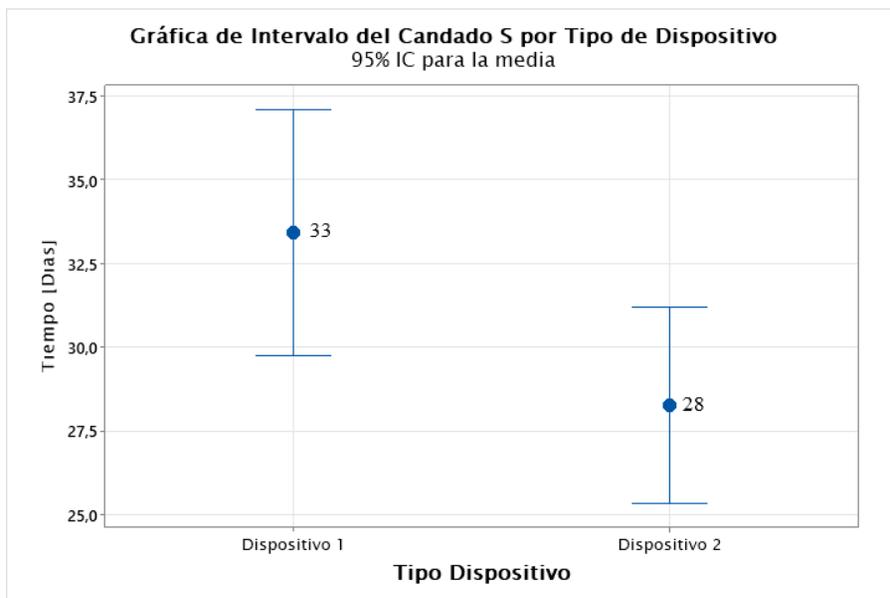
Tras analizar la diferencia en los tiempos de mantenimiento entre los distintos tamaños de clientela, se elaboró un diagrama de intervalos para determinar si existe una diferencia en los tiempos de mantenimiento entre los tipos de dispositivos utilizados en los candados tipo S. Los resultados se muestran en la Figura 19, donde se observa que sí existe una diferencia significativa en las medias de los tiempos de mantenimiento entre los diferentes tipos de dispositivos. A continuación, se plantean las siguientes hipótesis:

H₀: No existe diferencia de medianas entre los tiempos de los tipos de dispositivos

H₁: $\neg H_0$

Figura 19

Gráfica de Intervalo del tiempo de mantenimiento por tipo de dispositivo



El valor p de 0.011 confirma que existe una diferencia significativa en la mediana entre los tipos de dispositivos. Sin embargo, este hallazgo no se considera para la definición del

problema debido a que la empresa se encuentra en un proceso de migración de un tipo de dispositivo a otro.

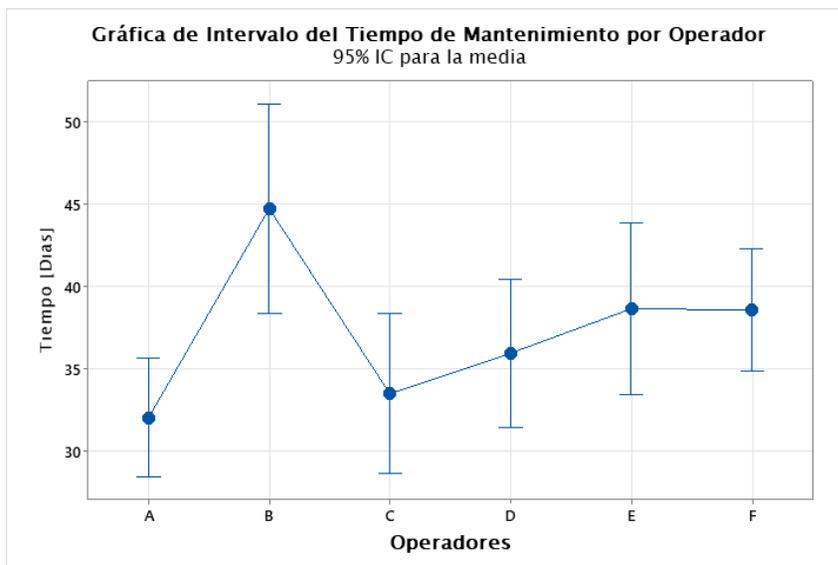
Por último, se elaboró un diagrama de intervalos para analizar el factor de los operadores y determinar si existe una diferencia en sus tiempos de operación. Los resultados se muestran en la Figura 20, donde se observa que sí existe una diferencia significativa en los tiempos de operación entre los distintos operadores. A continuación, se plantean las siguientes hipótesis:

H₀: No existe diferencia de medianas entre los tiempos de operación entre operadores

H₁: $\neg H_0$

Figura 20

Gráfica de Intervalos del tiempo de mantenimiento por operadores



El valor p de 0.000 confirma que existe una diferencia significativa en la mediana de los tiempos de operación entre los operadores. No obstante, este hallazgo no se considera para la

definición del problema debido a que la capacidad de reparación de candados y las actividades asignadas varían entre los operadores.

2.1.4 Problema Enfocado

Con los puntos de estratificación establecidos anteriormente, se plantea el problema enfocado que demuestra los altos tiempos de mantenimiento que se tiene actualmente.

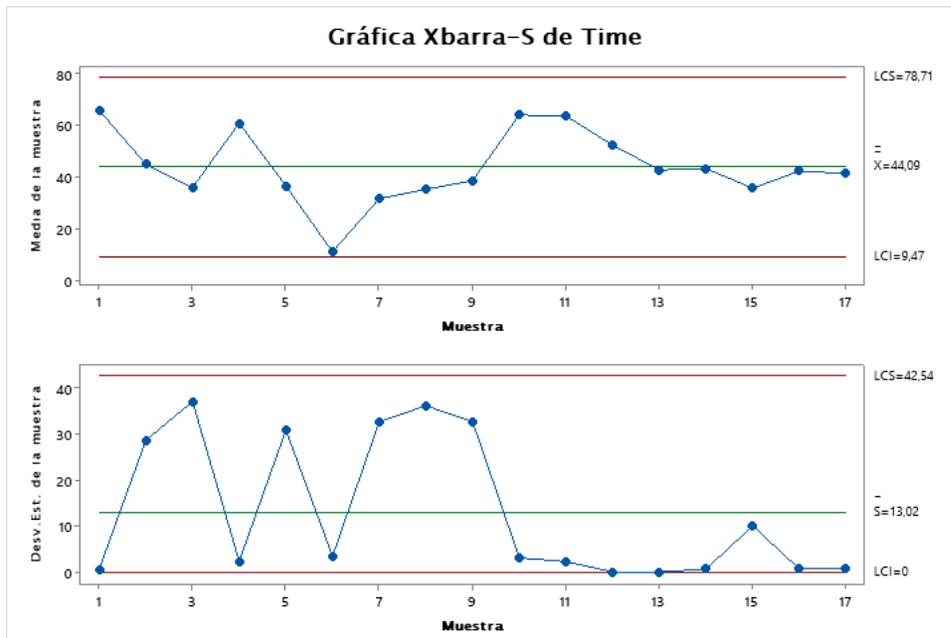
“Durante los meses de febrero y marzo de 2024, en el taller de operaciones de Pascuales, se han detectado tiempos elevados en el proceso de mantenimiento del candado S para las grandes empresas, donde el tiempo promedio actual del proceso es de 32 días, a pesar de que la empresa ha establecido que la entrega de candados para mantenimiento debe ser entre 1 y 3 días.”

2.1.5 Análisis de estabilidad

El tiempo del proceso de mantenimiento del candado presenta un comportamiento estable, según lo indica la carta de control de la media y la desviación estándar de las muestras seleccionadas. Estas muestras han sido elegidas en función del comportamiento de la asignación de órdenes de reparación, como se ilustra en la Figura 21.

Figura 21

Carta de Control X-S del proceso



2.2 Análisis

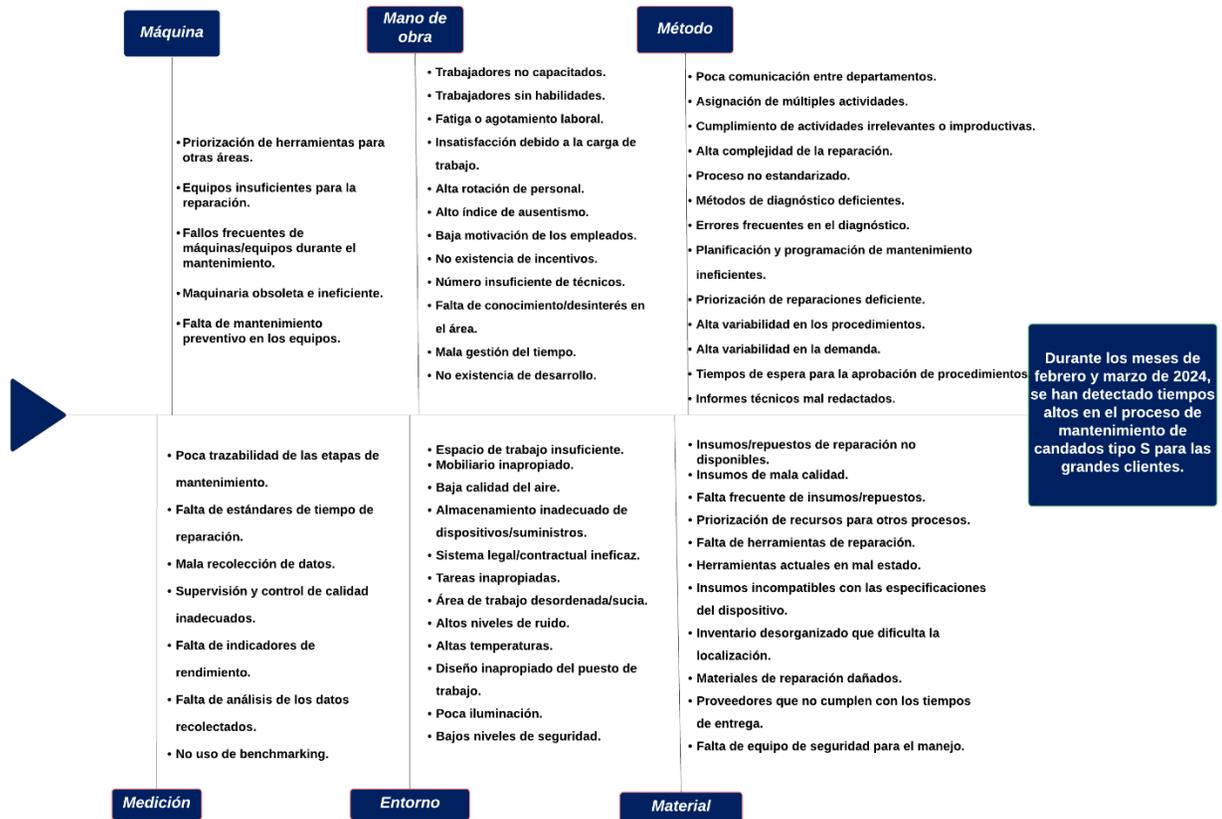
Durante la fase de análisis, se identificaron las potenciales causas asociadas al problema utilizando herramientas como lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa, matriz de impacto control, plan de verificación de causas y la técnica de los 5 ¿por qué? Con la finalidad de establecer causas raíz de la problemática planteada.

2.2.1 Diagrama de Ishikawa

Se empleó la herramienta lluvia de ideas con los actores involucrados en el proceso con el objetivo de recopilar la mayor cantidad de ideas posibles relacionadas a las causas que generan los altos tiempos de mantenimientos de candados, para después, registrarlas y categorizarlas en el diagrama de Ishikawa tal como se evidencia en la Figura 22.

Figura 22

Diagrama de Ishikawa de potenciales causas



2.2.2 Ponderación de causas

Tras identificar las causas potenciales del problema, se procede a realizar la calificación de estas por los actores que intervienen en el proceso según su perspectiva de la influencia de las causas evaluadas sobre la variable Y. Con la finalidad de identificar los motivos que generan mayor impacto, legitimidad y relevancia para la investigación, se ponderan mediante 3 criterios:

1. Efecto de la causa sobre la variable Y: Evalúa la opinión del actor acerca del impacto de la causa sobre el tiempo de mantenimiento de candado.

2. Peso de la persona: Asigna una ponderación al actor según su grado de interacción con el proceso.
3. Grado de legitimidad: Califica el grado en que es aceptada o apoyada la causa como motivo de la problemática por las partes interesadas.

Figura 23

Ponderación de calificación de causas

Efecto sobre la variable Y	Valor
No relacionado	0
Totalmente en desacuerdo	1
En desacuerdo	2
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	3
Aceptar	4
Totalmente de acuerdo	5
Peso de la persona	Valor
*** Muy importante	9
** Importante	3
* Menos Importante	1
Probabilidad de legitimidad	Valor
++ Muy alta probabilidad (>90%)	9
+ Alta probabilidad (70%-90%)	3
- No probable (<70%)	1

La calificación total de cada causa fue la multiplicación de los 3 criterios anteriormente mencionados.

Figura 24

Matriz de ponderación de causas por actores

N°	Evaluador	Jefe de Taller	Supervisor de producción	Asistente de producción	Líderes del proyecto	Calificación	Probabilidad de legitimidad	Calificación Final
		*	***	**	*			
		Efecto						
1	Insumos/Repuestos de reparación no disponibles	1	1	1	1	14	++	42

2	Insumos de mala calidad	1	2	2	2	27	+	81
3	Frecuente stockout de insumos/Repuestos	2	2	2	3	29	++	261
4	Priorización de recursos para otros procesos	3	5	4	4	64	++	576
5	Falta de herramientas para reparación	1	2	4	4	35	+	105
6	Herramientas actuales en mal estado	1	5	4	4	62	++	558
7	Insumos incompatibles con las especificaciones del dispositivo	1	2	1	2	24	+	72
8	Dificulta la localización de inventario	1	3	4	3	43	++	387
9	Materiales de reparación dañados	1	4	5	3	55	+	165
10	Proveedores que no cumplen con los tiempos de entrega	3	3	3	3	42	++	378
11	Carencia de equipos de seguridad para manipulación	1	3	4	3	43	++	387
12	Priorización de herramientas para otras áreas	1	3	4	4	44	+	132
13	Insuficientes equipos para reparación	1	4	3	4	50	++	450
14	Frecuentes averías de máquinas/equipos para mantenimiento	2	3	2	3	38	+	114
15	Maquinaria obsoleta e ineficiente	1	5	5	3	64	++	576
16	Falta de mantenimiento preventivo a los equipos	1	2	3	3	31	+	93
17	Trabajadores no capacitados	1	0	0	2	3	++	27
18	Trabajadores no cualificados	0	0	0	2	2	++	18
19	Fatiga o agotamiento laboral	1	3	1	1	32	+	96
20	Inconformidad por carga laboral	1	1	1	1	14	-	14
21	Alta rotación de personal	0	2	1	1	22	+	66
22	Alta tasa de absentismo	2	2	2	2	28	+	84
23	Baja motivación de los empleados	1	4	3	2	48	+	144
24	No existencia de incentivos	1	5	3	1	56	+	168
25	Insuficiente número de técnicos	1	2	3	4	32	++	288
26	Desconocimiento/Desinterés del área	1	2	2	2	27	++	243
27	Deficiente gestión del tiempo	2	1	1	4	18	++	162
28	No existencia de desarrollo	1	1	2	3	19	++	171
29	Deficiente trazabilidad de etapas de mantenimiento	3	2	1	5	29	++	261
30	Falta de Estándares de Tiempo de Reparación	1	4	3	4	50	+	150
31	Deficiente Recolección de Datos	1	3	3	5	42	+	126
32	Supervisión y control de la calidad inadecuados	1	2	2	3	28	++	252
33	Inexistencia de indicadores de desempeño	1	3	3	5	42	++	378

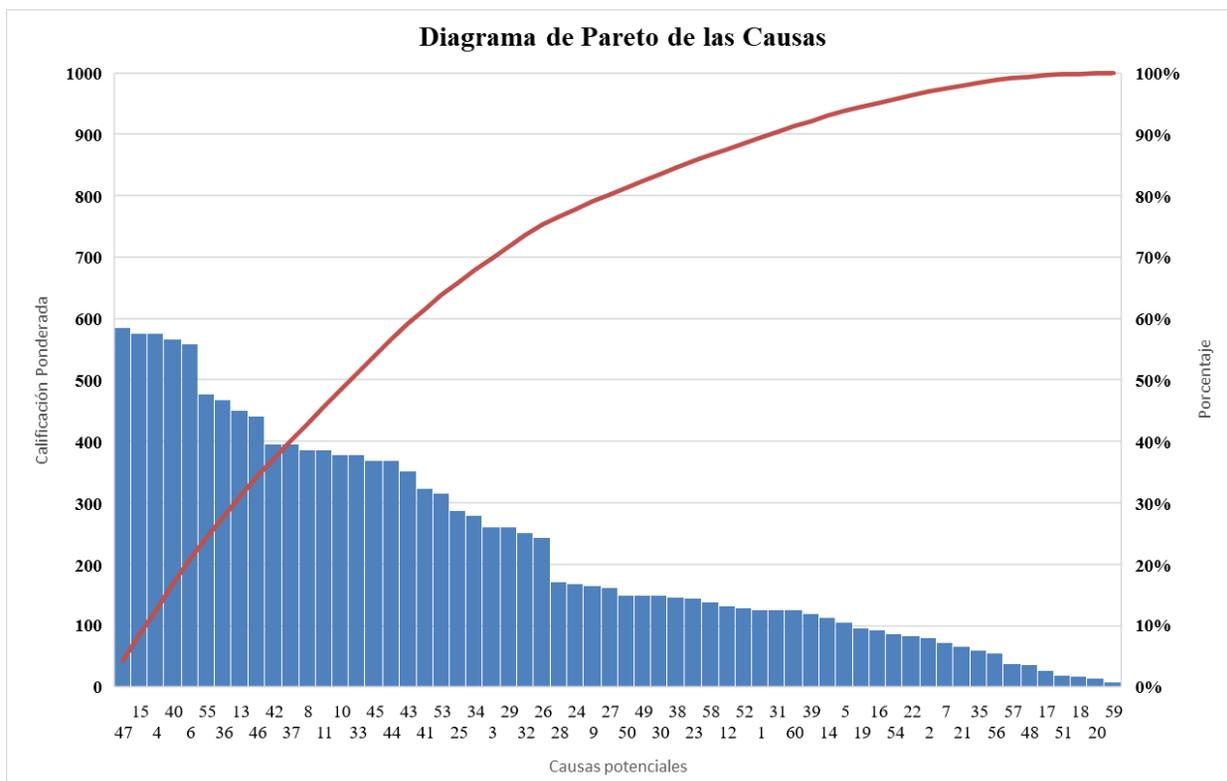
34	Falta de análisis de datos recolectados	1	2	3	3	31	++	279
35	No empleo de Benchmarking	1	1	2	4	20	+	60
36	Comunicación deficiente entre departamentos	3	4	3	4	52	++	468
37	Asignación de múltiples actividades	1	3	4	4	44	++	396
38	Cumplimiento de actividades irrelevantes/improductivas	1	4	3	3	49	+	147
39	Alta Complejidad de la reparación	1	3	3	3	40	+	120
40	Proceso no estandarizado	2	5	4	4	63	++	567
41	Deficientes métodos de diagnóstico	1	3	2	2	36	++	324
42	Frecuentes errores de diagnóstico	1	3	4	4	44	++	396
43	Ineficiente planificación y programación de los mantenimientos	1	2	5	5	39	++	351
44	Priorización deficiente de reparaciones	2	3	3	3	41	++	369
45	Alta variabilidad en los procedimientos	5	2	5	3	41	++	369
46	Alta variabilidad de la demanda	5	3	4	5	49	++	441
47	Tiempos de Espera en la Aprobación de Procedimientos	5	5	4	3	65	++	585
48	Informes técnicos mal redactados	1	3	2	2	36	-	36
49	Espacio de trabajo insuficiente	1	4	3	4	50	+	150
50	Mobiliaria inadecuada	2	4	3	3	50	+	150
51	Baja calidad del aire	1	1	3	1	20	-	20
51	Almacenamiento inadecuado de dispositivos/insumos	3	3	3	4	43	+	129
53	Sistema contractual/legal ineficaz	1	2	4	4	35	++	315
54	Puesto de trabajos inadecuados	4	2	1	4	29	+	87
55	Área de trabajo desordenada/sucia	4	4	3	4	53	++	477
56	Altos niveles de ruido	4	4	4	4	56	-	56
57	Altas temperaturas	1	3	3	1	38	-	38
58	Diseño inadecuado de estaciones de trabajo	3	3	4	4	46	+	138
59	Iluminación deficiente	4	0	1	1	8	-	8
60	Baja niveles de seguridad	3	3	3	3	42	+	126

2.2.3 Diagrama de Pareto

Utilizando la matriz de priorización de causas, se procede a llevar las puntuaciones a un diagrama de Pareto con el fin de identificar y seleccionar las causas que, según los actores involucrados, tienen el mayor impacto en el tiempo de mantenimiento de candados.

Figura 25

Diagrama de Pareto de causas



2.2.4 Causas Potenciales

A partir del diagrama de Pareto se determina las causas potenciales Tabla 3.

Tabla 3

Causas potenciales identificadas con el diagrama Pareto

Nº	Causas
4	Priorización de recursos para otros procesos
6	Herramientas actuales en mal estado

13	Insuficientes equipos para reparación
15	Maquinaria obsoleta e ineficiente
36	Comunicación deficiente entre departamentos
37	Asignación de múltiples actividades
40	Proceso no estandarizado
42	Frecuentes errores de diagnóstico
46	Gestión deficiente de la demanda
47	Tiempos de Espera en la Aprobación de Procedimientos
55	Área de trabajo desordenada/sucia
3	Frecuente stockout de insumos/Repuestos
8	Dificulta la localización de inventario
10	Proveedores que no cumplen con los tiempos de entrega
11	Carencia de equipos de seguridad para manipulación
25	Insuficiente número de técnicos
26	Desconocimiento/Desinterés del área
29	Deficiente trazabilidad de etapas de mantenimiento
32	Supervisión y control de la calidad inadecuados
33	Inexistencia de indicadores de desempeño
34	Falta de análisis de datos recolectados
41	Deficientes métodos de diagnóstico
43	Ineficiente planificación y programación de los mantenimientos
44	Priorización deficiente de reparaciones
45	Alta variabilidad en los procedimientos
53	Sistema contractual/legal ineficaz

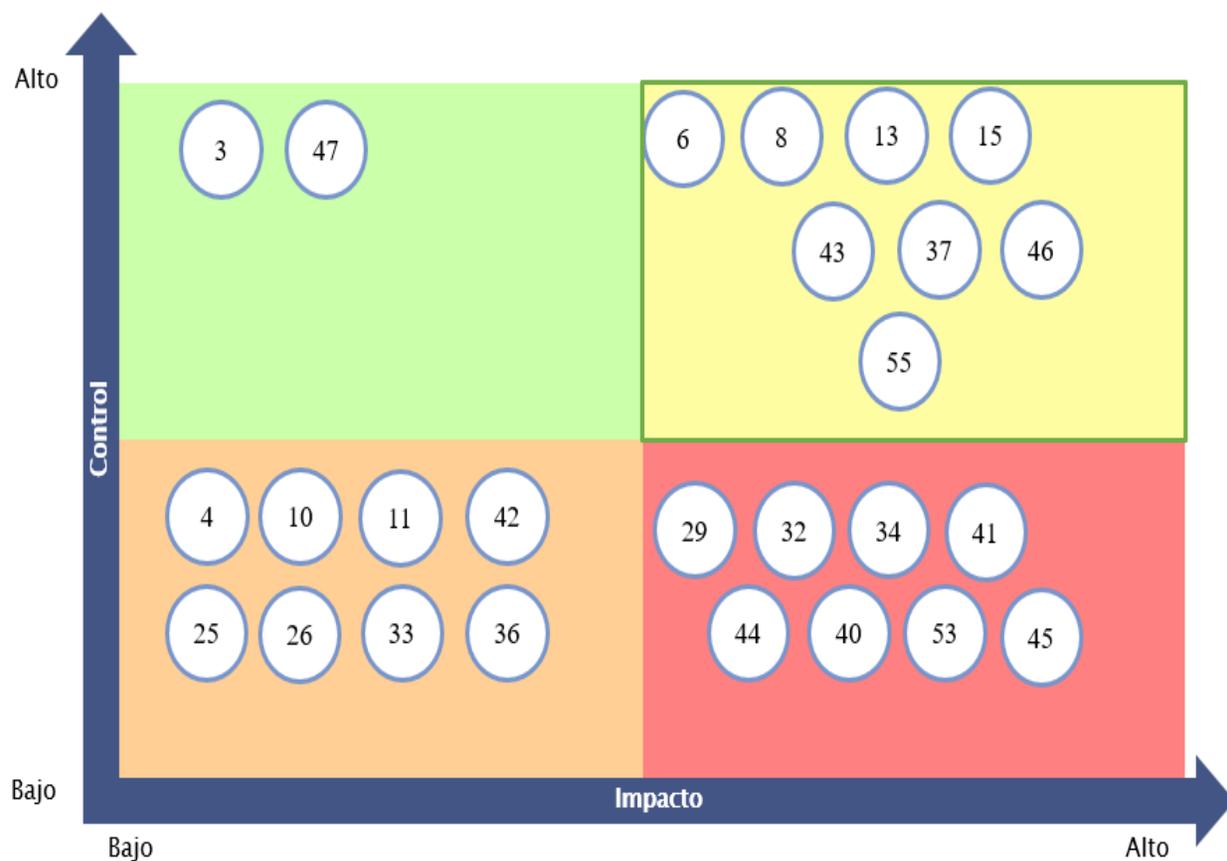
2.2.5 Matriz Impacto – Control

Tras identificar las causas más relevantes, se procede a ubicar en la siguiente matriz para determinar cuáles tienen un alto impacto y se tiene control sobre estas en el tiempo de mantenimiento de candado. Las causas seleccionadas que poseen un alto control e impacto están mayormente relacionadas con temas de condiciones de herramientas, espacios y planificación.

En la Figura 26 se detallan las causas que tienen un mayor impacto y control. Por esta razón, se seleccionan las causas 6, 8, 13, 15, 43, 37, 46 y 55 para un análisis más profundo.

Figura 26

Matriz Impacto Control para la selección de causas



De esta forma, las causas seleccionadas son las indicadas en la Tabla 4:

Tabla 4

Causas potenciales mayor impacto-Alto control

N	Causas Potenciales
1	Herramientas actuales en mal estado
2	Insuficientes equipos para reparación
3	Maquinaria obsoleta e ineficiente
4	Asignación de múltiples actividades

5	Gestión deficiente de la demanda en la fase de la recepción
6	Área de trabajo desordenada/sucia
7	Dificulta la localización de inventario
8	Ineficiente secuenciación y distribución de solicitudes de mantenimiento

2.2.6 Plan de verificación de causas

Se elaboró un plan de verificación de causas donde se muestra el impacto y el método de validación para cada una de ellas.

Figura 27

Plan de verificación de causa potenciales

Variable Y	X	Causa potencial	Impacto X → Y	¿Cómo se comprueba?	¿Quién verifica?	¿Dónde revisas?	Estado
		Descripción		Método	Responsable	Lugar	
Tiempo del proceso de mantenimiento de candados	X1 (6)	Herramientas actuales en mal estado.	Las herramientas actuales se encuentran en mal estado, lo que provocó que los técnicos improvisaran en la reparación de los candados.	Gemba	Líderes del proyecto	Workshop	Pendiente
	X2 (8)	Dificultad para localizar el inventario.	Los materiales necesarios para la reparación de cerraduras se encuentran dispersos por todo el taller, provocando retrasos por el tiempo que se dedica a buscarlos.	Gemba			Pendiente
	X3 (13)	Equipo insuficiente para la reparación.	Los técnicos que no tienen todas sus herramientas en su estación provocan retrasos mientras esperan la disponibilidad de herramientas por ser utilizadas por otro técnico.	Gemba, Prueba no paramétrica del tiempo del proceso de reparación con y sin retrasos en la búsqueda de herramientas y Check list de necesidades de equipos por estación			Pendiente
	X4 (15)	Maquinaria obsoleta e ineficiente	El mal estado de las herramientas provoca grandes retrasos en la reparación de candados debido a que hay que buscar herramientas en buen estado.	Gemba, Prueba no paramétrica del tiempo del proceso de reparación con y sin retrasos en la búsqueda de herramientas			Pendiente

X5 (43)	Planificación y programación ineficientes del mantenimiento.	La planificación de la reparación de candados se basa en empresas con pocas cerraduras, lo que provoca retrasos en las cerraduras de empresas más grandes y se traduce en mayores tiempos de espera para la entrada a producción.	Prueba no paramétrica de tiempos de espera entre grandes y pequeñas empresas y prueba no paramétrica de la proporción de candados en espera de grandes y pequeñas empresas	Pendiente
X6 (37)	Asignación de múltiples actividades	Los técnicos son asignados a otras actividades, lo que les obliga a interrumpir la reparación de candados para realizar la otra tarea asignada.	Prueba no paramétrica del tiempo del proceso de reparación con y sin retrasos en las tareas de otros	Pendiente
X7 (46)	Gestión deficiente de la demanda	Los candados llegan en cualquier momento y en cualquier cantidad, provocando un aumento del número de candados en espera de reparación.	Gráficas de control	Pendiente
X8 (55)	Área de trabajo desordenada/sucia	La desorganización de los puestos de trabajo provoca que los técnicos busquen herramientas, materiales y equipos, provocando retrasos en los tiempos de operación.	Gemba	Pendiente

2.2.7 Verificación de causas

- **Causa Potencial X1 - Herramientas actuales en mal estado**

Esta causa hace referencia a todos los elementos con los cuales se ejecuta directamente el mantenimiento de candados: desarmadores, alicates, entre otras. A través de Gemba se encuentra evidencia (Anexo A) significativa que las herramientas actuales se encuentran en mal estado, lo que provoca que los técnicos improvisen en la reparación de los candados, presentando retrasos debido a las condiciones que los instrumentos mantienen.

- **Causa Potencial X2 - Dificultad para localizar el inventario.**

Mediante Gemba se muestra que existe evidencia significativa (Anexo B) para establecer que los materiales necesarios para la reparación de candados se encuentran dispersos por todo el taller o en ubicaciones que no corresponden, provocando retrasos por el tiempo que los técnicos buscan o se desplazan para tener acceso a su función.

- **Causa Potencial X3 - Equipo insuficiente para la reparación.**

Por medio de un contraste entre Gemba (Anexo C), una prueba no paramétrica del tiempo del proceso de reparación con y sin retrasos en la búsqueda de herramientas (Figura 28), así como un Check list de necesidades de equipos por estación se comprueba que no existe evidencia significativa para afirmar que los técnicos presentan retrasos en su gestión de mantenimiento de candados debido a la espera de disponibilidad de herramientas.

Figura 28

Resultado de pruebas de mediana de Mann-Whitney para la causa potencial X3

Prueba de Mann-Whitney de tiempos de operación con retrasos y sin retrasos

Método

η_1 : mediana de tiempo con retrasos

η_2 : mediana de tiempo sin retrasos

Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Tiempo con retrasos	34	267,000
Tiempo sin retrasos	34	267,000

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
0,79	(-165,000; 168,500)	95,10%

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	1188,50	0,854
Ajustado para empates	1188,50	0,854

- **Causa potencial X4 - Maquinaria obsoleta e ineficiente**

La causa se refiere a todos los equipos auxiliares que acompañan a la ejecución del mantenimiento de candados: caufín, multímetro, taladro, entre otras. Con Gemba y Pruebas no paramétrica del tiempo del proceso de reparación con y sin retrasos en la búsqueda de herramientas (Figura 29) se establece que no se hallaron pruebas sustanciales para concluir que las máquinas en mal estado provocan grandes retrasos en la reparación de candados debido a que hay que esperar por maquinaria de uso común en buen estado.

Figura 29

Resultado de pruebas de mediana de Mann-Whitney para la causa potencial X4

Prueba de Mann-Whitney de tiempos de operación con retrasos y sin retrasos de búsqueda de herramientas

Método

η_1 : mediana de tiempo con retrasos
 η_2 : mediana de tiempo sin retrasos de búsqueda de herramientas
 Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Tiempo con retrasos	36	4468,00
Tiempo sin retrasos	36	4466,50

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
0,33	(-1583,84; 1589,00)	95,06%

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	1326,50	0,897
Ajustado para empates	1326,50	0,897

- **Causa Potencial X5 - Planificación y programación ineficientes del mantenimiento.**

La planificación de la reparación de candados se basa en priorizar el proceso de mantenimiento para clientes con pocas cerraduras y relegar a los clientes con mayor cantidad de candados porque estiman que no es una necesidad urgente que este último grupo sufra escasez de los dispositivos, lo que provoca la postergación del mantenimiento de ese grupo de candados. Por medio del tiempo de espera en cola recopilado se emplea una Prueba no paramétrica de tiempos de espera entre grandes y pequeños clientes y prueba no paramétrica de la proporción de candados en espera de clientes con mayor número de candados y menor número de candados

(Figura 30) con la finalidad de demostrar que existe una ineficiente planeación y secuenciación de las solicitudes de mantenimiento.

Figura 30

Resultado de pruebas de mediana de Mann-Whitney para la causa potencial X5

Prueba de Mann-Whitney de tiempos de espera entre grandes clientes y pequeños clientes

Método

η_1 : mediana de tiempos de espera de grandes clientes

η_2 : mediana de tiempos de espera de pequeños clientes

Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Tiempo con retrasos	46	48,3271
Tiempo sin retrasos	2	3,8608

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
42,5635	(4,29167; 54,3)	95,30%

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	1173,00	0,019
Ajustado para empates	1173,00	0,019

- **Causa Potencial X6 - Asignación de múltiples actividades**

Existe evidencia que los técnicos son asignados a otras actividades, lo que les obliga a interrumpir y retrasar el proceso de reparación de candados para priorizar la ejecución de otra tarea asignada ajena al proceso de mantenimiento de los dispositivos en estudio. Con la ayuda de una Prueba no paramétrica del tiempo del proceso de reparación con y sin retrasos a causa de la realización de otras tareas se concluye que no existe pruebas suficientes para resolver que existe una afectación de las múltiples actividades sobre el tiempo de reparación de candados.

Figura 31

Resultado de pruebas de mediana de Mann-Whitney para la causa potencial X6

Prueba de Mann-Whitney de tiempos con retrasos y sin retrasos de otras actividades

Método

η_1 : mediana de tiempos con retrasos
 η_2 : mediana de tiempos sin retrasos de otras actividades
 Diferencia: $\eta_1 - \eta_2$

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Tiempo con retrasos	36	4468,00
Tiempo sin retrasos	36	4467,00

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda
2	(-1575,00; 1632,00)	95,06%

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$
 Hipótesis alterna $H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$

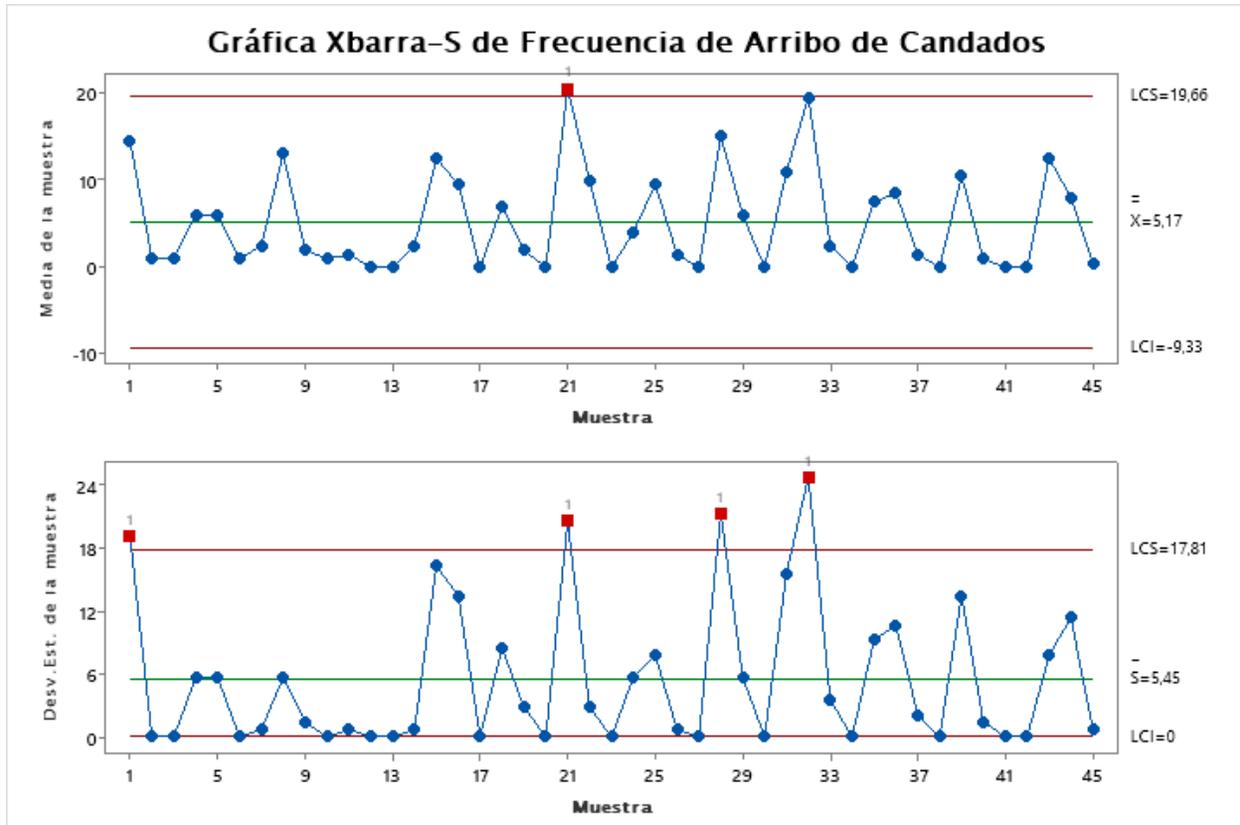
Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	1331,00	0,853
Ajustado para empates	1331,00	0,853

- **Causa Potencial X7 - Gestión deficiente de la demanda**

La causa describe la intermitente frecuencia y cantidad de candados que arriban al taller de mantenimiento sin ningún tipo de control, provocando un aumento del número de candados en espera de reparación. Dicha incertidumbre se ve reflejada en el reporte de mantenimiento de la organización a través del registro de solicitudes de mantenimiento generadas por día, cuya información es analizada en gráficos de control que concluyen que la causa raíz es significativa, véase en la Figura 32.

Figura 32

Carta de Control de frecuencia de arribo de candados



- **Causa Potencial X8 - Área de trabajo no pulcra**

A través de Gemba se demuestra que es significativo el desorden y poca limpieza del área (Anexo D), además que la desorganización de los puestos de trabajo provoca que los técnicos busquen herramientas, materiales y equipos, provocando retrasos en los tiempos de operación. Asimismo, genera que los componente o partes usadas para la reparación tengan que ser limpiadas con la finalidad de emplearlas en la reparación de candados, labores que también generan demoras en el proceso de mantenimiento de candados.

2.2.8 Análisis de la causa raíz

Identificadas las causas potenciales, a través de la herramienta de 5 ¿Por qué? se pretende hallar las causas raíz de los motivos significativos asociados a los altos tiempos de mantenimiento de candados.

- **Causa Potencial X1 (6) – Herramientas actuales en malas condiciones**

Figura 33

Obtención de causa raíz de la variable X1 usando herramienta 5 porqués

Round 1	Hipótesis	Round 2	Hipótesis	Round 3	Acción
¿Por qué las herramientas actuales están en mal estado?	Sí	¿Por qué el taller de mantenimiento no cuenta con las herramientas suficientes y adecuadas?	Sí	¿Por qué existen herramientas que han cumplido su vida útil o presentan desgaste?	Establecer un plan de compra y reposición de nuevas herramientas para el área de producción
Porque el taller de mantenimiento no cuenta con las herramientas suficientes y adecuadas.		Porque existen herramientas que han cumplido su vida útil o presentan desgaste		Porque las herramientas han sido empleadas en actividades distintas a sus funciones o principios de diseño	

- **Causa potencial X2 (8) Dificultad para localizar el inventario**

Figura 34

Obtención de causa raíz de la causa potencial X2 usando herramienta 5 porqués

Round 1	Hipótesis	Round 2	Hipótesis	Round 3	Hipótesis	Round 4	Acción
¿Por qué se dificulta la localización del inventario?	Sí	¿Por qué el espacio de trabajo es muy desorganizado?	Sí	¿Por qué el inventario es mal almacenado o posicionado dentro del área de producción?	Sí	¿Por qué los trabajadores no dejan los materiales dónde los encontraron?	Estandarizar la ubicación de materiales/ equipos o herramientas

Porque el espacio de trabajo está muy desorganizado		Porque el inventario es mal almacenado o posicionado dentro del área de producción		Porque los trabajadores no dejan los materiales dónde los encontraron		Por que desean tener cercanía y disponibilidad de los materiales	
---	--	--	--	---	--	--	--

- **Causa Potencial X5 (43) Ineficiente secuenciación y distribución de solicitudes de mantenimiento**

Figura 35

Obtención de causas raíz de la causa potencial X5 usando herramienta 5 porqués

Round 1	Hipótesis	Round 2	Hipótesis	Round 3	Hipótesis	Round 4	Acción
¿Por qué se dificulta la localización del inventario?	Sí	¿Por qué el espacio de trabajo es muy desorganizado?	Sí	¿Por qué el inventario es mal almacenado o posicionado dentro del área de producción?	Sí	¿Por qué los trabajadores no dejan los materiales dónde los encontraron?	Estandarizar la ubicación de materiales/ equipos o herramientas
Porque el espacio de trabajo está muy desorganizado		Porque el inventario es mal almacenado o posicionado dentro del área de producción		Porque los trabajadores no dejan los materiales dónde los encontraron		Porque desean tener cercanía y disponibilidad de los materiales	

- **Causa Potencial X7 (46) Gestión deficiente de la demanda**

Figura 36

Obtención de causas raíz de la causa potencial X7 usando herramienta 5 porqués

Round 1	Hipótesis	Round 2	Hipótesis	Round 3	Acción
¿Por qué existe una Gestión deficiente de la demanda y llegada de dispositivos?	Sí	¿Por qué repentinamente llegan un número fluctuante de dispositivos para mantenimiento?	Sí	¿Por qué los clientes acumulan dispositivos para mantenimiento y los entregan cuando reciben reparados?	Adecuada gestión, recopilación, procesamiento y análisis de los datos de la demanda.

Porque repentinamente arriban los clientes con un número fluctuante de dispositivos para mantenimiento		Porque los clientes acumulan dispositivos para mantenimiento y los entregan cuando reciben reparados		Porque los clientes buscan minimizar el número de viajes al taller de mantenimiento y arriban cuando la acumulación de dispositivos afecta su operatividad	
--	--	--	--	--	--

- **Causa Potencial X8 (55) Área de trabajo no pulcra**

Figura 37

Obtención de causas raíz de la causa potencial X8 usando herramienta 5 porqués

Round 1	Hipótesis	Round 2	Hipótesis	Round 3	Hipótesis	Round 4	Acción
¿Por qué el área de trabajo está sucia?	Sí	¿Por qué se conviven con los desperdicios del proceso?	Sí	¿Por qué el área de trabajo no se mantiene limpia de manera consistente?	Sí	¿Por qué los trabajadores desconocen sus roles relacionados a la limpieza del área?	Establecer un estándar de limpieza y organización claramente definido y comunicado en la empresa.
Porque se conviven con los desperdicios del proceso		Porque el área de trabajo no se mantiene limpia de manera consistente		Porque los trabajadores desconocen sus roles relacionados a la limpieza del área		Porque la limpieza del área depende de la proactividad de uno los trabajadores	

Las Causas raíz se resumen en la siguiente Tabla 5:

Tabla 5

Causas raíz del problema

Causa Raíz X1	Porque las herramientas se han utilizado en actividades distintas a sus funciones o principios de diseño.
Causa Raíz X2	Porque quieren tener proximidad y disponibilidad de materiales.

Causa Raíz X5	Porque se asume que los clientes con menos candados tienen una mayor necesidad de usar el producto que otros.
Causa Raíz X7	Porque los clientes buscan minimizar el número de viajes al taller de mantenimiento y llegan cuando la acumulación de dispositivos afecta su operación.
Causa Raíz X8	Porque la limpieza del área depende de la proactividad de los trabajadores.

2.3 Mejorar

Continuando con la metodología DMAIC, en la etapa de mejora se propusieron soluciones para cada causa raíz identificada. Posteriormente, se priorizaron estas soluciones para determinar cuál es factible de aplicar.

2.3.1 Soluciones potenciales

Las soluciones potenciales fueron discutidas con los clientes internos y los docentes de la carrera. Estas soluciones se presentan en la Figura 38.

Figura 38

Soluciones potenciales propuestas

N	Causa Raíz	Soluciones Potenciales
1	Debido a que las herramientas se han utilizado en actividades distintas a sus funciones o principios de diseño.	1.1 Manual y capacitación en el uso de herramientas según la actividad. 1.2 Regulaciones sobre el uso de herramientas. 1.3 Biblioteca de mantenimiento. 1.4 Enfoque de estandarización 5S. 1.5 Plan de mantenimiento preventivo para equipos y herramientas.
2	Desean tener proximidad y disponibilidad de materiales.	2.1 Sistema de gestión de inventario para suministros (Kanban). 2.2 Organización y almacenamiento compacto de herramientas y suministros. 2.3 Enfoque 5S – Ordenar. 2.4 Etiquetado y codificación del uso de herramientas. 2.5 Kit de herramientas y materiales.
3	Se asume que los clientes con menos candados tienen una mayor necesidad de utilizar el producto que otros.	3.1 Sistema de producción DDMRP. 3.2 Sistema de producción SDBR. 3.3 Sistema de liberación de órdenes de mantenimiento. 3.4 Contratos de mantenimiento personalizados. 3.5 Modelo matemático para la asignación de turnos para mantenimiento.

4	Los clientes buscan minimizar el número de viajes al taller de mantenimiento y acuden cuando la acumulación de dispositivos afecta su funcionamiento.	4.1 Establecimiento de Talleres Satélites. 4.2 Estrategias de buffers para variabilidad de la demanda. 4.3 Implementación de un sistema de gestión de clientes y dispositivos. 4.4 Programación de citas y gestión de turnos. 4.5 Sistema de monitoreo y alertas para mantenimiento predictivo.
5	La limpieza del área depende de la proactividad de los trabajadores.	5.1 5S – Enfoque de Limpieza. 5.2 Elaboración de procedimientos y protocolos de limpieza estandarizados. 5.3 Subcontratación de servicios de limpieza. 5.4 Mejoras en el diseño del espacio de trabajo.

2.3.2 Priorización de soluciones

Las soluciones propuestas fueron priorizadas en función de los criterios presentados en la Tabla 6.

Tabla 6

Criterios para selección de soluciones

Criterio	Calificación		
	3	2	1
Tiempo de entrenamiento	Un mes	Entre uno y dos meses	Más de dos meses
Tiempo de Implementación	Un mes	Entre uno y dos meses	Más de dos meses
Inversión	Menos de \$600	Entre \$600 y \$1000	Más de \$300
Impacto en el problema	Alto Impacto	Medio Impacto	Bajo Impacto

Para seleccionar las mejores ideas que generen un mayor impacto en la variable de respuesta Y, se llevó a cabo una reunión con los clientes internos. Durante esta reunión, ellos evaluaron y calificaron las soluciones propuestas, como se evidencia en la Tabla 7 y Tabla 8.

Tabla 7*Selección de soluciones (Parte 1)*

Solución Propuesta	Criterios				
	Inver- sión	Tiempo de Implementa- ción	Tiempo de Entrenamien- to	Impacto al problema	Total
1.1 Manual y Capacitación de uso de herramientas acorde a la actividad.	3	1	1	1	6
1.2 Regulaciones sobre el uso de herramientas	3	3	1	1	8
1.3 Biblioteca de mantenimiento	3	3	1	1	8
1.4 Enfoque de estandarización 5S.	3	3	2	2	10
1.5 Plan de mantenimiento preventivo a equipos y herramientas	3	1	1	2	7
2.1 Sistema de gestión de inventario de insumos (Kanban)	2	1	3	2	8
2.2 Organización y almacenamiento compacto de herramientas e insumos	3	1	2	2	8
2.3 5S – Enfoque estandarización	3	2	3	2	10
2.4 Etiquetación y codificación de uso de herramientas	3	1	3	1	8
2.5 Kit personal de herramientas y materiales	3	1	1	3	8

Tabla 8*Selección de soluciones (Parte 2)*

Solución Propuesta	Criterios				
	Inversión	Tiempo de Implementación	Tiempo de Entrenamiento	Impacto al problema	Total
3.1 Sistema de producción DDMRP	1	1	2	3	7
3.2 Sistema de producción SDBR	3	3	3	1	10
3.3 Sistema de liberación de ordenes de mantenimiento basado en semáforos	3	3	3	2	11
3.4 Contratos de mantenimiento personalizados	1	1	1	3	6
3.5 Modelo matemático para la asignación de turnos para mantenimiento	2	1	2	2	7
4.1 Establecimiento de Talleres Satélites	2	1	2	2	7
4.2 Estrategias de buffers para la variabilidad de la demanda	2	3	2	3	10
4.3 Implementación de un sistema de gestión de clientes y dispositivos	3	1	1	3	8
4.4 Programación de citas y gestión de turnos	2	2	2	2	8
4.5 Sistema de monitoreo y alertas para mantenimiento predictivo	3	1	1	2	7
5.1 5S - Enfoque de Limpieza	3	2	2	3	10

5.2 Elaboración de procedimientos y protocolos de limpieza y estandarizados	3	3	1	1	8
5.3 Subcontratación de servicios de limpieza	1	3	2	1	7
5.4 Mejoras en el diseño del espacio de trabajo	3	1	1	3	8

Durante la selección de posibles soluciones, se identificó que algunas de ellas estaban interrelacionadas y contribuían a mitigar el impacto de la causa en la variable de respuesta. De esta manera, se seleccionaron tres soluciones.

Figura 39

Solución para cada causa raíz

Solución	Causa Raíz
Sistema de liberación de órdenes de mantenimiento	Porque se asume que los clientes con menos candados tienen una mayor necesidad de usar el producto que otros.
Estrategias de suavización de demanda	Porque los clientes buscan minimizar el número de viajes al taller de mantenimiento y llegan cuando la acumulación de dispositivos afecta su operación.
Implementación Metodología 5S	Porque las herramientas se han utilizado en actividades distintas a sus funciones o principios de diseño.
	Porque quieren tener proximidad y disponibilidad de materiales.
	Porque la limpieza del área depende de la proactividad de los trabajadores.

2.4 Implementar y Controlar

Se explicará a detalle de cómo se llevó a cabo el desarrollo de cada solución.

2.4.1 Desarrollo de la solución 1

Implementar un sistema de liberación de órdenes de mantenimiento que está basado en Teoría de Restricciones (TOC), se debe tener conocimiento del tiempo de entrega de cada orden de mantenimiento, además de otros pasos que se mencionan en la Figura 40.

Figura 40

Pasos de desarrollo del sistema de liberación de órdenes de mantenimiento



Ahogar la entrada: En el cuadro de mantenimiento gestionado por el supervisor de producción, se identifican los candados que requieren ser reparados dentro de un periodo de tiempo determinado o aquellos que presentan un estatus de "Pendiente".

Gestión de prioridades: En vista de que la información ingresada en el cuadro de mantenimiento depende actualmente de los auxiliares de producción o del supervisor de producción, se han detectado diversas incongruencias en la forma en que se registra dicha información. Para abordar esta problemática y garantizar la uniformidad en el registro de datos, se ha decidido estandarizar el proceso de ingreso de información mediante el uso de listas desplegables en los campos correspondientes a "Tipo de Candado" y "Nombres de los Clientes".

Además, se añadieron cinco nuevas columnas con el propósito de determinar el nivel de prioridad de los candados identificados en la etapa anterior Anexo E. Las columnas añadidas son las siguientes:

- **Tiempo de entrega:** Es la cantidad de días que la empresa destina para la entrega de un candado sin incurrir en la posibilidad de generar una nota de crédito al cliente.
- **Fecha prometida:** La fecha en la cual debe entregarse el candado para evitar incurrir en una nota de crédito se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Fecha de arribo del candado} + \text{Tiempo de entrega} \quad (2.1)$$

- **Fecha de asignación:** La fecha recomendada para asignar la orden de servicio y comenzar la reparación del candado se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Fecha prometida} - \frac{\text{Tiempo de entrega}}{2} \quad (2.2)$$

- **Buffer:** El porcentaje que indica cuánto se encuentra el candado adelantado o retrasado con respecto a la fecha de liberación recomendada de la orden de servicio se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Hoy} - \text{Fecha de Asignación}}{\text{Fecha Prometida} - \text{Fecha de Asignación}} \quad (2.3)$$

- **Estatus de priorización:** Para una mejor comprensión categórica del porcentaje de avance del buffer en relación con la fecha prometida de entrega del candado, los valores categóricos se definieron de la siguiente manera:

Urgente Trabajar: El valor del buffer > 85%

Trabaje en este instante: El valor del buffer > 50% y ≤ 85%

Sugiere comenzar a trabajar: El valor del buffer ≥ 0% y ≤ 50%

Menor prioridad: El buffer < 0%

Gestión de recursos con capacidad limitada: Dada la importancia de conocer en qué etapa del proceso de mantenimiento se encuentra un candado, se ha planteado una capacitación para resaltar la relevancia de la comunicación sobre el estatus del candado, a fin de facilitar la liberación de nuevos candados para su reparación.

Establecimiento de fechas de entrega basada en la carga: Para obtener un mejor entendimiento de la cantidad de candados en función de los estatus de priorización, se ha establecido un tablero visual. Este tablero permite una comprensión más clara de la cantidad de candados y facilita la compartición visual de la información con otros departamentos. Esto se puede visualizar en el Anexo F.

Por otra parte, uno de los requerimientos de la empresa es obtener una recomendación sobre los candados que deben comenzar a ser trabajados, con el fin de equilibrar tanto los candados con estatus de “Urgente por trabajar” como aquellos cercanos a su fecha de entrega. Para cumplir con este objetivo, se ha planteado un modelo de programación lineal basado en el modelo de asignación, con el propósito de identificar los candados que deben ser reparados.

Para el modelo se considera lo detallado en la Tabla 9.

Tabla 9

Consideraciones iniciales para el modelo de asignación

Entradas	Restricciones
Candados	Tamaño de lote
% Buffer	Cantidad de candados con menor prioridad

Luego, se realizó el modelo manual, especificando los conjuntos, parámetros, función objetivos y restricciones del modelo, como se muestran en la Figura 41, Figura 42 y Figura 43.

Figura 41

Descomposición del problema parte 1

Descomposición del problema	
Conjuntos	Parametros
N Listado de Candados (i)	M % de priorización de los candados (i) D Cantidad de lote de producci (36) P Cantidad de candados entre 10% y 100% (15) Q Candados con priorización entre 10% y 100%
Variables	
Variables binarias	
X(i) Si el candado i es seleccionado Y(i) Variable auxiliar que indicas si el porcentaje M(i) esta dentro del rango.	

Figura 42

Descomposición del problema parte 2

Parametros	FUNCIÓN OBJETIVO
Mi % de priorización del candado (i)	
Variable	$Y = \sum M * X_i$
X(i) 1 Si el candado i es seleccionado 0 otro caso	"Y" significa el Total de porcentaje de priorización
La función objetivo maximiza el total de priorización de los candados seleccionados.	

Figura 43*Descomposición del problema parte 3*

RESTRICCIONES	
Capacidad Total del Lote	
Solo 36 candados deben ser seleccionado dado que cada operador puede trabajar con 6 candados	
$\sum X_i = 36$	
Restricción de ruptura de buffer	
Debe haber como mínimo 15 candados con priorización entre 10% y 100%	
$Y_i \leq X_i$	
$M * X_i \leq 100\% * Y_i$	
$M * X_i \geq 10\% * Y_i$	
$\sum X_i * Y_i \geq 15$	

El modelo proporciona una recomendación sobre los candados que deben ser trabajados; sin embargo, para una mejor comprensión, estos se visualizan junto con el reporte generado previamente, el cual se muestra en el Anexo G.

2.4.2 Desarrollo de solución 2

Los buffers o amortiguadores son una herramienta de gestión efectiva para mitigar los efectos de la incertidumbre en los sistemas de producción, especialmente en entornos de fabricación complejos. Esta incertidumbre puede tener su origen tanto en factores internos como externos a la empresa. (Erraoui & Charkaoui, 2023)

En el caso actual, al implementar buffers adecuados, se puede manejar de manera más efectiva la variabilidad en la llegada de dispositivos para mantenimiento, permitiendo un flujo más regular y frecuente de los candados que requieren servicio. Esto evita que los clientes acumulen un gran número de dispositivos antes de llevarlos al taller, lo cual reduce la carga de trabajo irregular y facilita una distribución más uniforme y eficiente de las órdenes de mantenimiento. Una buena estrategia de buffers también permite al taller anticiparse a los picos

de demanda, planificar los recursos necesarios y gestionar estos picos sin comprometer los tiempos de respuesta ni la calidad del servicio.

Para abordar la presente solución, establecimos los siguientes pasos resumidos en la Figura 44:

1. **Análisis de Datos:** El primer paso implica recopilar y analizar datos históricos de demanda y tiempos de espera en el taller. Esto puede incluir datos sobre la frecuencia y la capacidad de dispositivos que son resueltos en una unidad de tiempo. El objetivo es entender la variabilidad de la demanda y cómo afecta los tiempos de entrega.
2. **Identificación de Causas de Ineficiencias:** En este paso, se identifican las causas principales de las ineficiencias en el proceso actual. Esto puede incluir problemas de gestión de inventario, falta de coordinación en la programación de mantenimiento, problemas en la organización del taller que afectan la eficiencia, entre otras.
3. **Planteamiento de Estrategias de Amortiguación (buffers):** Una vez identificadas las causas de las ineficiencias, se plantean tipos de buffers. Esto implica crear buffers que ayuden a absorber la variabilidad de la demanda, asegurando que siempre haya capacidad disponible para manejar picos inesperados en la demanda sin afectar los tiempos de entrega.

Los tipos de buffers propuestos se basan en la utilidad en el entorno de producción del taller de mantenimiento de candados.

- **Buffers de capacidad:** Se refiere a la capacidad adicional que se mantiene disponible en un sistema de producción o servicio para manejar aumentos inesperados en la demanda o interrupciones en el proceso (Caputo, 1996). Se

propone que el taller tendrá que optar por horas extras o empleados disponibles para cubrir emergencias.

- Buffers de tiempo o contingencia: Consisten en tiempo adicional que se añade a un cronograma de proyecto para absorber retrasos inesperados (Caputo, 1996). Este buffer permitirá al equipo cumplir con los plazos a pesar de posibles contratiempos.
- Buffers de inventario: Se plantea el empleo de cantidades adicionales de insumos o candados almacenados de sustitución para asegurar la continuidad del proceso de mantenimiento en el taller en caso de fluctuaciones en la demanda. (Caputo, 1996)

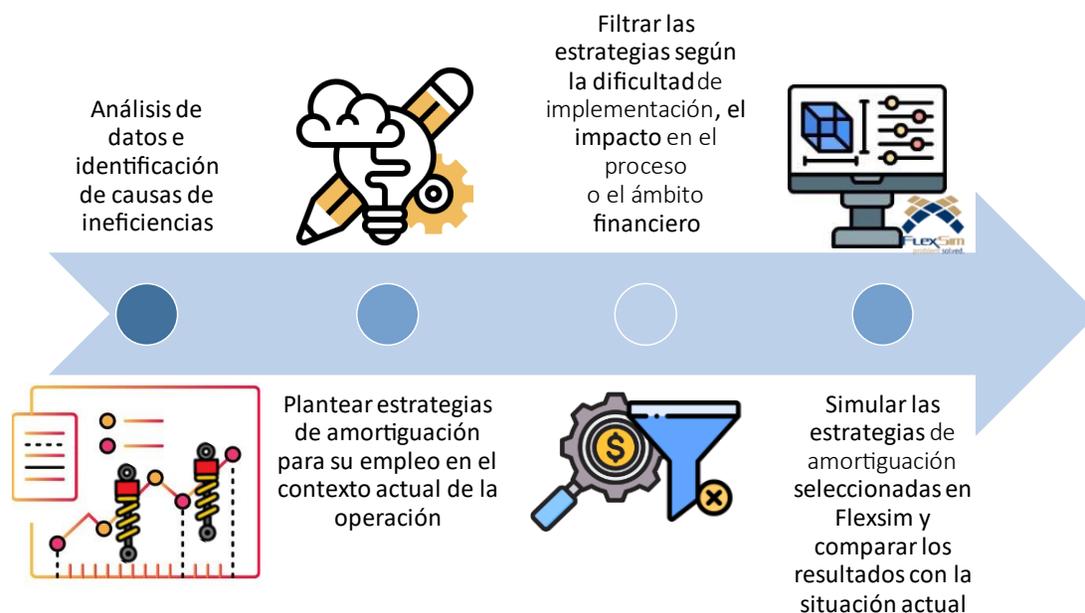
4. Simulación y Optimización (FlexSim): Con el uso de herramientas de simulación como FlexSim, se modelan los procesos actuales y se prueba la configuración de buffer de contingencia sugerida para verificar el resultado. La simulación permite visualizar cómo los cambios propuestos impactarán en la operación del taller y ajustar o añadir estrategias de amortiguación en función de los resultados posteriormente.

Los buffers sugeridos fueron filtrados en conjunto con las partes interesadas de acuerdo con la viabilidad de implementación al proceso de estos amortiguadores a corto plazo. Sin embargo, se optó por la implementación de un buffer de contingencia con el objetivo de añadir un tiempo adecuado adicional a la fecha promesa de entrega del dispositivo al cliente basado en el peor caso de demanda mensual histórica del taller de mantenimiento y la capacidad del sistema; arrojando un tiempo sugerido de promesa de fecha de entrega de 13 días laborables (Anexo L), que admitirá amortiguar variabilidades en el proceso sin comprometer recursos o satisfacción del cliente a través de una fecha de ofrecimiento de entrega que permita administrar

el tiempo adecuadamente sin incurrir en muchos de los casos a potenciales penalidades por incumplimientos.

Figura 44

Pasos para la implementación de buffers



2.4.3 Desarrollo de solución 3

La metodología 5S es una herramienta lean que busca eliminar o reducir el desperdicio, optimizar la productividad y mejorar la calidad mediante la organización y mantenimiento del lugar de trabajo. (Filip & Marascu-Klein, 2015)

Aplicada al contexto del taller de reparación de candados, la metodología 5S abarca la disposición sistemática del entorno de trabajo, incluyendo herramientas, materiales y documentos, para crear un espacio más organizado y disciplinado. La implementación de 5S no

solo contribuye a un entorno de trabajo más ordenado y sistemático, sino que también fomenta un ambiente seguro y cómodo, lo cual se traduce en un incremento de la productividad. Al aplicar 5S, se pueden resolver problemas relacionados con materiales innecesarios, uso ineficiente del espacio, desorden, y tiempos desperdiciados en desplazamientos, búsqueda, esperas o falta de enfoque, transformando así la situación actual del taller Anexo H.

Para ello, se procede a la implementación de la metodología a través de los siguientes objetivos en cada paso:

1. Seiri: Primero, capacitar al equipo acerca de los conceptos y beneficios de la implementación de 5S. Luego, identificar y separar los elementos necesarios de los innecesarios en el taller mediante el empleo de tarjetas rojas; el objetivo es eliminar herramientas, materiales o equipos que no se utilizan regularmente, liberando espacio y reduciendo el desorden. Esto ayudará a mejorar la organización y facilitar el acceso a los elementos esenciales. (Rizkya et al., 2019)
2. Seiton: Tras la realización de la primera S, se procede a organizar de manera eficiente todos los elementos que son necesarios para las operaciones diarias. Esto implica etiquetar y colocar herramientas y equipos en lugares específicos y accesibles. La meta es que todo tenga un lugar asignado y que sea fácil de encontrar y retornar a su lugar después de su uso, minimizando el tiempo de búsqueda y mejorando la eficiencia del taller (Anexo I). (Rizkya et al., 2019)
3. Seiri: En esta etapa se establece una rutina de limpieza regular en las estaciones de trabajo y áreas comunes del taller, asimismo se fija las áreas de limpieza (Anexo J). Esto incluye la limpieza de herramientas, equipos y superficies de trabajo para

mantener un entorno seguro y agradable. Un taller limpio no solo previene accidentes, sino que también prolonga la vida útil de las herramientas y mejora la moral del personal. (Filip & Marascu-Klein, 2015)

4. Seiketsu: Aquí se desarrolla estándares y procedimientos claros para mantener el orden y la limpieza alcanzados. La estandarización asegura que los hábitos de orden y limpieza se mantengan a largo plazo. (Rizkya et al., 2019)
5. Shitzuke: Se planea fomentar la disciplina y el compromiso en todo el equipo para seguir los estándares a través de auditorías constantes que evalúen la sostenibilidad de las 5S. La auditoría tiene un plan de realización, así como la conexión con indicadores para evidenciar el avance de cada “S” y entre las “S” a través del tiempo (Anexo K). (Rizkya et al., 2019)

Implementando estos pasos, el taller de mantenimiento de candados será un entorno más eficiente, mejorando significativamente el rendimiento y otros aspectos laborales de los empleados.

2.5 Plan de implementación

Una vez identificadas las posibles soluciones, se procedió a elaborar un plan de implementación exhaustivo. Dicho plan detalla de forma precisa los aspectos clave del proyecto: qué acciones se llevarán a cabo, cuáles son los motivos que sustentan cada decisión, cómo se ejecutarán las tareas, dónde se desarrollarán, cuándo se iniciarán y finalizarán las distintas etapas, y cuál es la estimación de los recursos necesarios. Tal como se evidencia en la Figura 45 adjunta, se ha realizado un análisis minucioso de cada variable.

Figura 45

Plan de implementación para las soluciones seleccionadas

5W+2H							
Causa Raíz	¿Qué?	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Quién?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Qué tanto?
Porque se asume que los clientes con menos candados tienen una mayor necesidad de usar el producto que otros.	Sistema de liberación de órdenes de mantenimiento	Lograr una mejor priorización de los candados sin tener que soportar largos tiempos de espera para los clientes pequeños.	Generar lotes de producción que incluyan candados que estén próximos o pasados de fecha de reparación para lograr una mejor priorización de los candados que se deben atender.	Supervisor de Producción	En el tiempo de asignación de lote de trabajo	Primera semana de Agosto	\$500 incluyendo el costo de capacitación por nuevo método de trabajo
Porque los clientes buscan minimizar el número de viajes al taller de mantenimiento y llegan cuando la acumulación de dispositivos afecta su operación.	Estrategias de suavización de demanda	Comprender el comportamiento de la demanda y el número de candados que llegan para reparación, de modo que tenga un impacto positivo en la distribución del trabajo y el tiempo de llegada.	Generar lotes de producción que incluyan candados que estén próximos o pasados de fecha de reparación para lograr una mejor priorización de los candados que se deben atender.	Supervisor de Producción	En el tiempo de asignación de lote de trabajo	Primera semana de Agosto	\$ 1000 incluyendo el uso de programas y costo de capacitación
Porque las herramientas se han utilizado en actividades distintas a sus funciones o principios de diseño.	Implementación 5S	Mejorar la distribución de las áreas de trabajo, además de contar con herramientas en buen estado y adecuadas para la ejecución de las actividades.	Generar una cultura de mejora continua y estandarización de las estaciones de trabajo para los operarios, según corresponda.	Equipo de Producción	Estaciones de Trabajo	Desde el 22 de Julio hasta el 30 de agosto	\$ 1000 incluyendo el costo de capacitación y adquisición de herramientas críticas
Porque quieren tener proximidad y disponibilidad de materiales.							
Porque la limpieza del área depende de la proactividad de los trabajadores.							

Capítulo 3

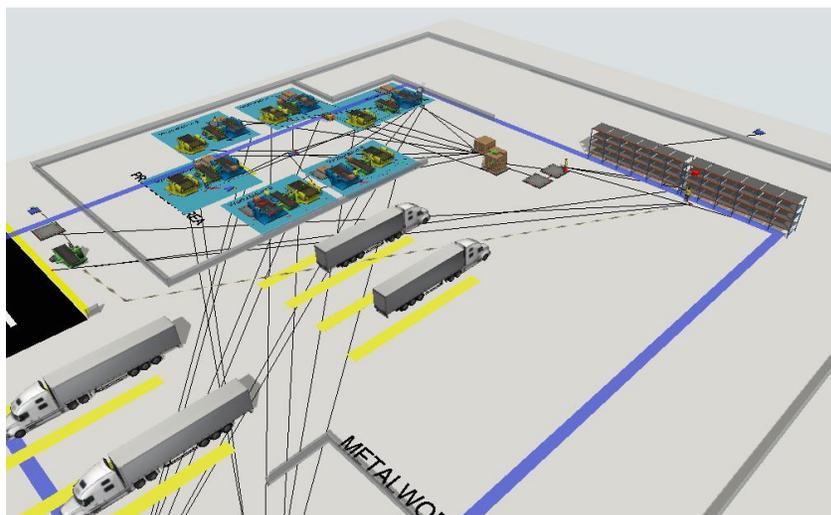
3 Resultados y análisis

3.1 Resultado de la simulación

Se desarrolló un modelo de simulación de estado actual del proceso de mantenimiento de candados tal como se observa en la Figura 46, considerando lo tiempo recolectados en la etapa de medición, en donde las cajas de color café representan los candados tienen un tiempo promedio de 30 días en espera por ser atendido y las cajas rojas representan los candados que recién llegan al taller de operaciones.

Figura 46

Simulación de la situación actual



Se realizaron diez corridas del modelo actual con el objetivo de analizar su comportamiento y determinar el número de réplicas necesarias. El tiempo de simulación se estableció en dos semanas, considerando tanto las jornadas laborales del taller como los tiempos inactivos presentes durante las operaciones. El análisis se centró en la producción de candados terminados, obteniendo como resultado que la media del modelo es de 45,5 candados, en

comparación con la media de los datos originales, que es de 47,5 candados. Los resultados obtenidos son los siguientes:

$$\mathbf{H_0: } \mu_0 = 45,5$$

$$\mathbf{H_1: } \neg H_0$$

$$t_0 = \left| \frac{\bar{Y} - \mu_0}{S/\sqrt{n}} \right| \quad (3.1)$$

$$t_0 = \left| \frac{47,5 - 45,5}{3,2/\sqrt{n}} \right| = 1,97$$

Dado $t_{\alpha/2;n-1} = 2,26$, se concluye que no existe una diferencia significativa que permita rechazar la hipótesis nula, ya que el valor obtenido t_0 es menor que $t_{\alpha/2;n-1}$. Por lo tanto, se puede concluir que el modelo es adecuado. En función de esto, se procedió a calcular el valor de R_{min} , considerando un error de 1 candado y un nivel de confianza del 95% para determinar el número de réplicas necesarias. En la ecuación 3.2, se muestra que se requieren al menos 40 réplicas.

$$R_{min} = \left(\frac{Z_{\alpha} S_0}{\varepsilon} \right)^2 \quad (3.2)$$

$$R_{min} = \left(\frac{Z_{0,05/2} * 3,2}{1} \right)^2 = 39,33 \approx 40 \text{ réplicas}$$

3.1.1 Resultados de la Solución 1

Para implementar la solución de priorización de candados, se estableció que el tiempo de espera mínimo de un candado en el rack sea de al menos 5 días. Posteriormente, se configuró el modelo para que los operarios seleccionaran primero los candados (caja café), y después tomando en cuenta su proximidad a la fecha de entrega seleccionara los candados nuevos (caja

roja), tomando en consideración la condición de seleccionar un mínimo de 6 candados combinando ambos criterios. En la Figura 46 y Figura 47 se presenta un gráfico de las corridas realizadas, donde se visualiza la diferencia entre los tiempos del proceso de mantenimiento de candados durante los meses de febrero, marzo y abril, y el tiempo promedio del proceso en la primera solución simulada. Obteniendo una media del proceso de 7,1 días y una desviación de 0,65 días.

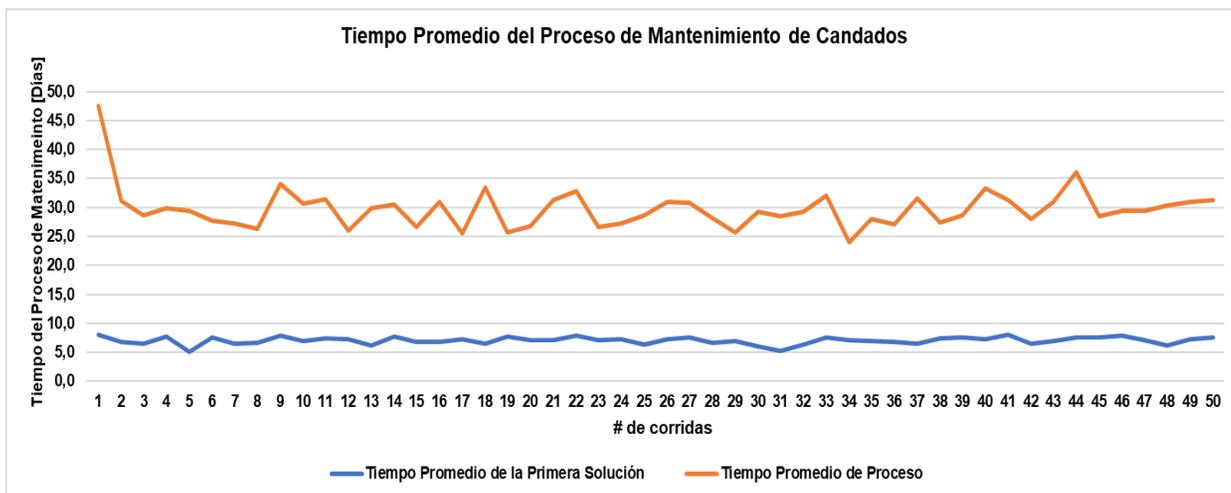
Figura 47

Número de corridas para la solución 1



Figura 48

Comparación del tiempo promedio del proceso de la solución 1 vs el tiempo actual



3.1.2 Resultados de la Solución 1 y Solución 2

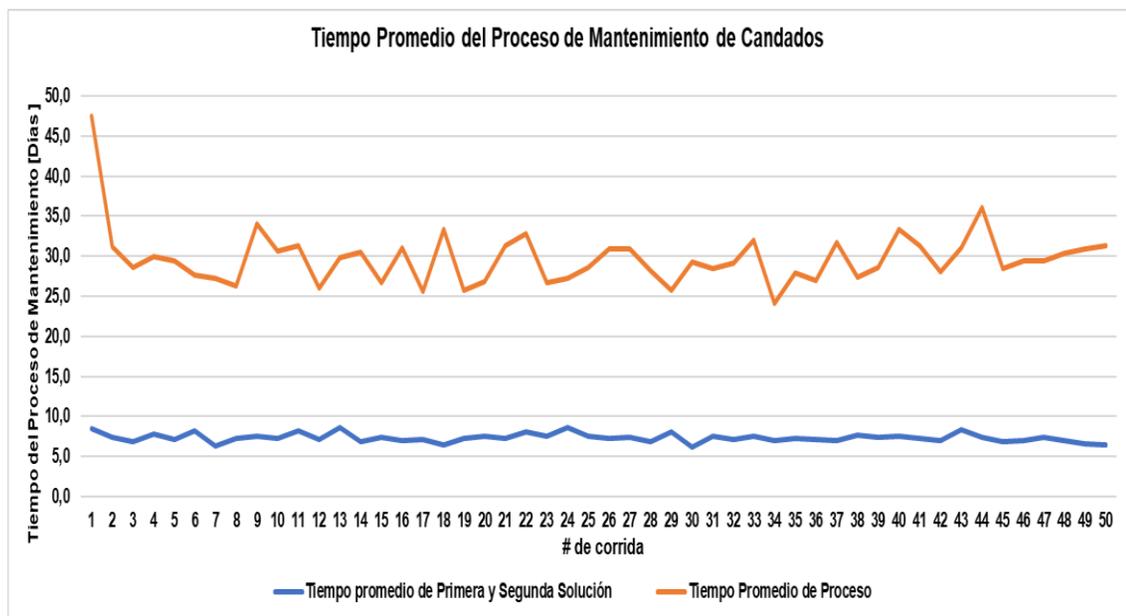
Con la implementación de la metodología 5S en la primera solución, se logró reducir el tiempo de interrupciones de los colaboradores durante una jornada laboral, incrementando el tiempo productivo en 32 minutos por día. Asimismo, se mantuvieron las condiciones establecidas en la primera solución, donde los candados recién llegados (caja roja) debían esperar al menos 5 días laborales antes de determinar su nivel de prioridad y el momento oportuno para comenzar a trabajar en función de su fecha de entrega. Como se observa en la Figura 48 y Figura 49 se obtiene un tiempo promedio de 7,3 días con una desviación de 0,56 días.

Figura 49

Número de corridas para la solución 1 y 2

**Figura 50**

Comparación del tiempo promedio del proceso de la solución 1 y 2 vs el actual



3.1.3 Resultados de la Solución 1, Solución 2 y Solución 3

Para esta solución, se consideraron los parámetros de las soluciones 1 y 2, añadiendo la implementación de la solución 3, que implicó un ajuste en el lead time para la entrega de los candados. Como resultado, los candados recién arribados (caja roja) ahora deben esperar un promedio de 6,5 días antes de ser considerados en la priorización interna del sistema. Con base

en estos cambios, como se evidencia en la figura, se obtuvo un tiempo promedio de procesamiento de candados de 8,8 días, con una desviación estándar de 0,63 días.

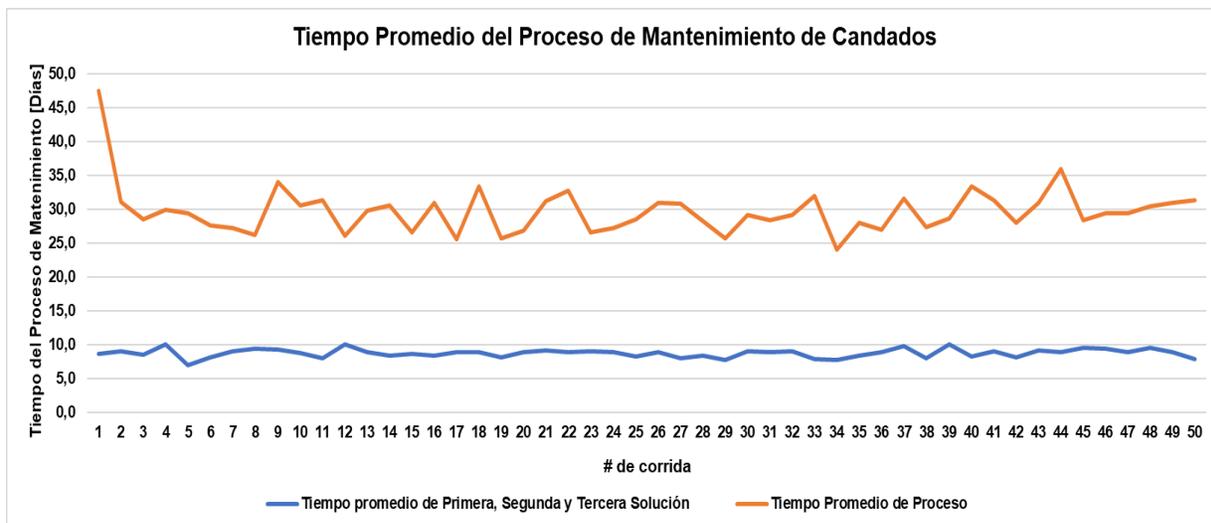
Figura 51

Número de corridas para la solución 1, 2 y 3



Figura 52

Comparación del tiempo promedio del proceso de la solución 1 y 2 vs el tiempo actual



3.2 Análisis de resultados

Con base en los resultados de la simulación, se seleccionó uno de los escenarios analizados, tal como se muestra en la Tabla 10. Se optó por el escenario que integra las tres soluciones propuestas: "Sistemas de liberación de orden de mantenimiento", "Metodología 5S" y "Modificación de lead time".

Tabla 10

Resultados obtenidos en los diferentes tipos de escenarios

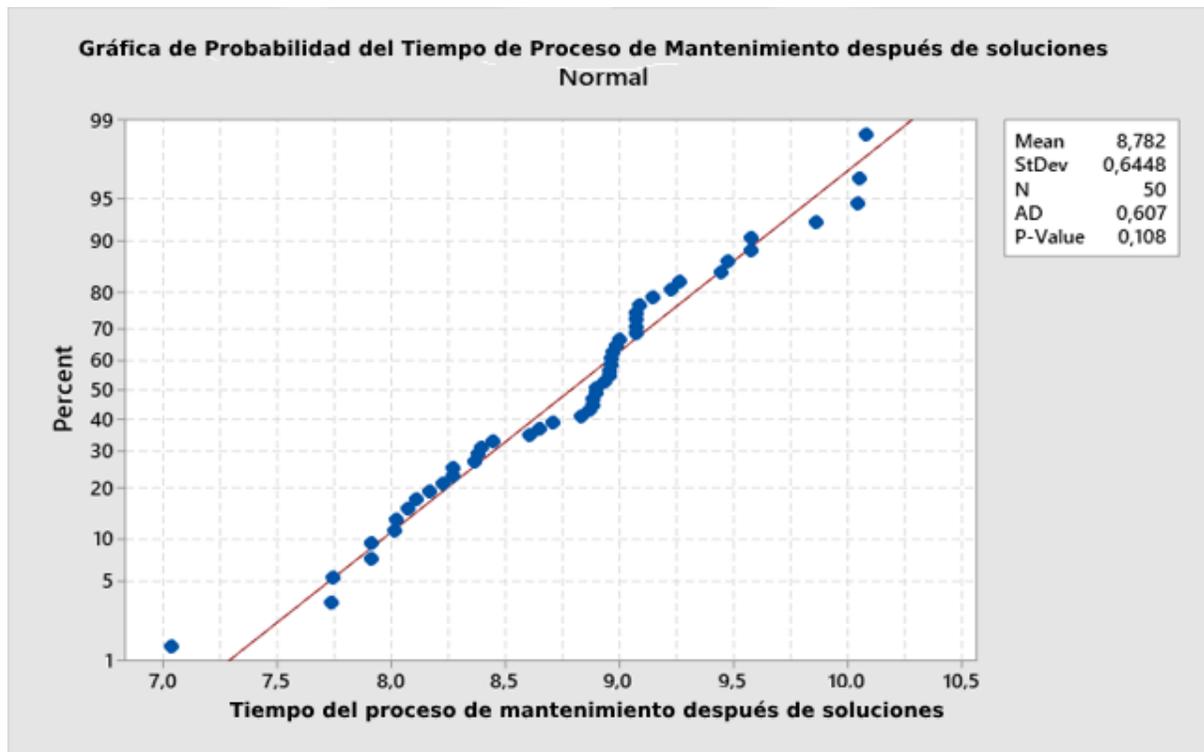
Solución 1	Solución 1+Solución 2	Solución 1 + Solución 2 + Solución 3
Tiempo promedio del proceso 7,3 días	Tiempo promedio del proceso 7,1 días	Tiempo promedio del proceso 8,7 días

Se eligió este escenario que combina todas las soluciones, ya que ofrece un mayor tiempo de amortiguamiento para afrontar altos picos de demanda, cuando esta supera la capacidad actual de procesamiento. Además, este enfoque permite generar una mayor cantidad de producto terminado (cajas cafés) y, simultáneamente, mantiene una adecuada proporción de candados recién arribados (cajas rojas).

Con base en los resultados de la solución, se realizó una prueba de normalidad para determinar el tipo de distribución de los datos obtenidos. En la figura se muestra que los datos siguen una distribución normal, ya que se obtuvo un valor p de 0,10.

Figura 53

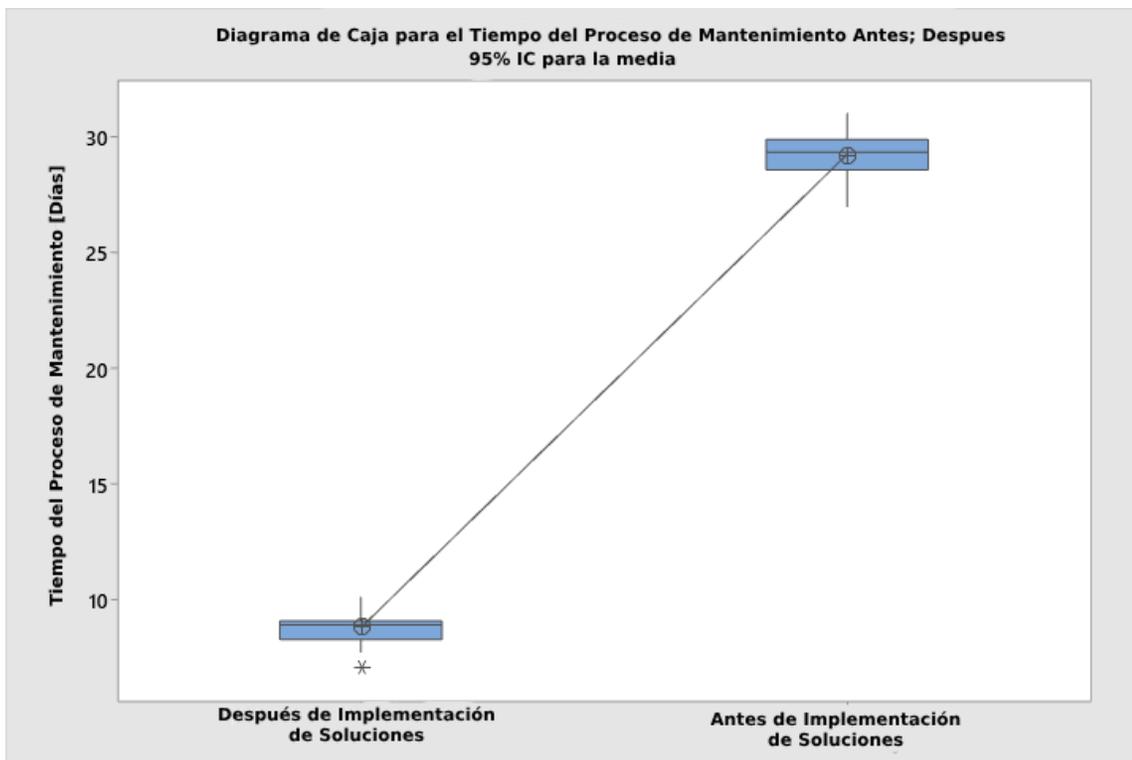
Diagrama de probabilidad normal de los resultados del escenario con soluciones 1, 2 y 3



Además, se realizó una prueba de diferencia de medias en Minitab utilizando los resultados del tiempo del proceso de mantenimiento entre el estado actual y el modelo mejorado. Se comprobó la existencia de una diferencia significativa entre las medias del proceso actual y del modelo mejorado, con un valor p de 0, como se evidencia en la Figura 53.

Figura 54

Diferencias entre las medias del modelo actual y del modelo mejorado



3.2.1 Indicador Económico

Para el indicador económico, que representa el costo a incurrir en caso de no cumplir con el plazo de entrega de los candados, en este caso fijado en 10 días, se evaluó en función de la capacidad de producción del taller. Comparando la tasa mensual de producción de candados, se determinó que, con una capacidad de producción de 25 candados por semana y una tasa de arribo de 35 candados semanales, se logra incrementar el porcentaje de cumplimiento promedio del 16% durante los meses de febrero, marzo y abril al 70%. Este incremento es posible gracias a la implementación del sistema de liberación de órdenes de mantenimiento, que permite cumplir con los plazos de entrega establecidos.

3.2.2 Indicador social

Se implementó un programa de capacitación en seis herramientas de mejora continua dirigido al personal del área de producción (Anexo N), alcanzando una asistencia promedio del 81%. Previo a esta iniciativa, los colaboradores poseían una noción superficial del concepto de mejora continua, pero carecían de un entendimiento profundo de las técnicas y su aplicación práctica. Con esta formación, se buscó empoderar al equipo, brindándoles las habilidades necesarias para identificar oportunidades de mejora y aplicar métodos que optimicen sus procesos, impactando tanto en la calidad del trabajo como en los resultados de la empresa.

3.2.3 Indicador Ambiental

En el marco de nuestra estrategia ambiental, se implementó un plan para sacar de su estado de obsolescencia a una cantidad significativa de candados, ya sea reactivándolos completamente o reutilizando sus componentes para reacondicionar nuevos dispositivos. Este esfuerzo permitió reducir el porcentaje promedio de candados obsoletos de un 8% a un 2,5%. Este indicador es crucial (Anexo M), ya que no solo evitamos que una gran cantidad de dispositivos se conviertan en residuos, lo que hubiera generado un impacto ambiental considerable, sino que además logramos incorporar estos candados nuevamente a la cadena operativa, generando un beneficio económico significativo para la empresa.

Reactivar estos candados implica aprovechar al máximo los recursos ya existentes, evitando la producción innecesaria de nuevos dispositivos y minimizando el desperdicio de materiales. Asimismo, al reincorporar los candados reactivados al servicio, se optimizan los costos operativos, dado que se reducen las inversiones en nuevas adquisiciones. En lugar de desechar los candados antiguos, sus componentes fueron reutilizados de manera eficiente, contribuyendo a una producción más sostenible.

3.3 Control

En esta fase se desarrolló un plan de control con el objetivo de asegurar que las soluciones propuestas puedan ser sostenidas a largo plazo. Este plan incluye la definición de indicadores clave, procedimientos de seguimiento y mecanismos de ajuste continuo, como se muestra en la Tabla 11. De esta manera, se garantiza que las mejoras implementadas se mantengan efectivas y alineadas con los objetivos del proyecto a lo largo del tiempo.

Tabla 11

Plan de control de las soluciones

Soluciones	Responsable	¿Qué se controla?	¿Cómo se controla?	Frecuencia	Documento
Sistema de liberación de ordenes de mantenimiento	Gerente de Producción	Verificación de la correcta priorización en cada lote de producción.	El supervisor de producción debe establecer los lotes de producción basándose en el sistema de planificación y enviarlos al gerente de producción.	Cada Semana	-
	Supervisor de Producción	Verificación del seguimiento de los lotes de producción.	El supervisor de producción debe validar el estado de avance de los candados en el lote de producción priorizado.	Dos veces a la semana	-

Estrategias de buffers para variabilidad de la demanda		Activación de buffers de demanda	El supervisor debe monitorear constantemente la carga de trabajo y la capacidad del taller, así como asegurar la ejecución de los buffers.	Todos los días	-
	Supervisor de producción	Ajustes a procesos y recursos	El supervisor debe ajustar los procesos de producción, la asignación de recursos y los criterios de priorización para optimizar las implementaciones futuras, en función de los resultados del análisis de la demanda.	Todas las semanas	-
	Supervisor de producción	Reuniones periódicas con Administración	El supervisor debe coordinar reuniones semanales con los líderes de equipo y otros departamentos involucrados para alinear el progreso, las prioridades y ajustar las cargas de trabajo según sea necesario.	Todas las semanas	-

Metodología 5S	Supervisor de producción	Informe mensual de sostenibilidad 5S	El Supervisor de Producción verifica el cumplimiento de la Auditoría 5S mensual por parte del personal y notifica el cumplimiento	Todos los meses	Auditoría 5S
	Supervisor de producción	Capacitación del personal	El Supervisor de Producción brinda recordatorios semanales o charlas sobre la importancia del cumplimiento de la metodología.	Todas las semanas	-

Capítulo 4

4 Conclusiones

4.1 Conclusiones

- La implementación de la metodología DMAIC permitió definir claramente el problema, identificar soluciones y cumplir con los requerimientos del cliente, alcanzando varios de los objetivos del proyecto. Las soluciones, las cuales atacan las causas raíz que originan largos tiempos de mantenimiento, involucran la incorporación a la operación un sistema de priorización de órdenes de mantenimiento basado en TOC para reducir el tiempo de asignación de solicitudes de reparación de candados. También, la introducción de amortiguadores como los de contingencia que permite proponer un tiempo adicional basado en la capacidad del sistema y la demanda con la finalidad de cumplir plazos de entrega a pesar de las posibles demoras debido a la variabilidad, contribuyendo a la mejora de los tiempos totales de procesos de mantenimientos. Finalmente, la implementación de 5S que trae consigo la eliminación de desperdicios en el proceso de reparación como movimientos, búsqueda, pérdidas de enfoque o esperas con el objetivo de mejorar el tiempo útil de la operación a través de un área productiva y eficiente.
- Mediante el análisis se reveló que el tiempo promedio actual del proceso para el mantenimiento de candados tipo S de clientes que poseen un mayor número de estos, es de 32 días. Sin embargo, debido a las soluciones planteadas y simuladas, se logró reducir este tiempo a un promedio de 8,8 días, lo que representa una reducción del 70% de la duración del proceso. No obstante, el tiempo de mantenimiento de los dispositivos de seguridad puede desarrollarse en un plazo de

13 días laborables desde que ingresa el candado, gracias al buffer de contingencia que propone una fecha de entrega que amortigüe los posibles casos de variabilidad en el sistema. Esta mejora sustancial evidencia la efectividad de las estrategias implementadas, su impacto positivo en la eficiencia operativa y el cumplimiento con el objetivo general del proyecto, reduciendo alrededor del 50% el GAP del proyecto.

- Como resultado de la reducción en el tiempo del proceso de mantenimiento y la implementación del sistema de liberación de órdenes de mantenimiento, se logró un avance significativo en el cumplimiento de los plazos establecidos. El indicador económico reveló un notable aumento en el porcentaje promedio de candados entregados a tiempo, que pasó del 16% al 70%. Este incremento del 54% en órdenes cumplidas refleja un impacto positivo considerable en la eficiencia y capacidad de respuesta de la organización, fortaleciendo su habilidad para satisfacer las expectativas del cliente. Además, el 81% del personal del área de producción ha sido capacitado en herramientas de mejora continua, lo que contribuye a la búsqueda de la excelencia operacional y al crecimiento profesional. Por último, se ha reducido el porcentaje de dispositivos obsoletos, logrando reactivar o reutilizar sus partes para minimizar el impacto ambiental y reintroducirlos a la operación, generando así beneficios económicos y sostenibles.
- Se propuso un plan de control para cada una de las soluciones implementadas, con el objetivo de garantizar un seguimiento adecuado del cumplimiento de las mejoras. Este plan incluye indicadores de rendimiento específicos, así como procedimientos de monitoreo y evaluación que permitirán verificar la efectividad

de las soluciones adoptadas. De esta manera, se asegura que las mejoras se mantengan en el tiempo y se puedan realizar ajustes necesarios para optimizar continuamente el proceso.

4.2 Recomendaciones

- Llevar a cabo la implementación de las soluciones propuestas para evaluar con precisión el tiempo real del proceso de mantenimiento y el porcentaje de cumplimiento en la entrega de candados dentro de la fecha promesa establecida. Esta evaluación permitirá verificar la efectividad de las mejoras y ajustar las estrategias según sea necesario para asegurar resultados óptimos y sostenibles.
- Se recomienda actualizar el cuadro de mantenimiento de candados de manera diaria o semanal. Esto permitirá una mejor priorización de los candados que deben ser atendidos dentro de un periodo de tiempo específico, optimizando la asignación de recursos y asegurando que las tareas más urgentes se realicen con prontitud. Esta práctica contribuirá a mantener la eficiencia del proceso y a cumplir consistentemente con los plazos establecidos.
- Es imperativo implementar amortiguadores de capacidad, como la opción de horas extras, para manejar picos de demanda que superen la capacidad del sistema y/o que no pueden ser gestionados adecuadamente con el tiempo de contingencia actualmente propuesto. Esta medida permitirá una mayor flexibilidad operativa, capacidad de respuesta y garantizará que los picos de demanda se manejen de manera oportuna sin comprometer la calidad del servicio ni aumentar los tiempos de espera por la formación de nuevas y largas colas de candados. La activación de horas extras debe ser considerada como una herramienta estratégica para evitar

cuellos de botella y asegurar que el sistema mantenga su rendimiento óptimo durante periodos de alta demanda.

- Mejorar la situación contractual de la venta y alquiler de candados orientados a métodos de administración de la demanda que puedan incluir de bandas de precios, atención prioritaria, citas para mantenimiento, promociones por reparaciones, penalidades por altos volúmenes de candados para reparación o cualquier otra alternativa que permitan reducir la variabilidad y las fluctuaciones del arribo de candados al taller de mantenimiento. Estas estrategias no solo optimizarán la gestión de la demanda y la satisfacción del cliente, sino que también permitirán una mejor planificación y utilización de los recursos, mejorando la rentabilidad y la eficiencia operativa.
- Se sugiera empezar a trabajar en la planificación de la operación de reparación de candados y asegurar una alineación efectiva con las prioridades empresariales. Por tanto, es esencial integrar el pronóstico de demanda en la planificación del arribo de candados junto con las solicitudes de nuevas producciones o trabajos de otros productos de la misma familia para no comprometer el desempeño de unos por otros, garantizando que los tiempos de entrega y las necesidades de producción sean gestionados de manera eficiente en tiempo y forma. La implementación de un sistema de planificación y pronóstico que permita anticipar las demandas y coordinar los recursos de forma proactiva ayudará a minimizar los conflictos entre departamentos, retrasos y garantizando una comunicación fluida.

Referencias

- Caputo, M. (1996). Uncertainty, flexibility and buffers in the management of the firm operating system. *Production Planning & Control*, 7(5), 518–528.
<https://doi.org/10.1080/09537289608930381>
- Erraoui, Y., & Charkaoui, A. (2023). Analysis of Buffer techniques in Lean distribution and theory of constraints in a distribution context. *Journal of Operations Management, Optimization and Decision Support*, 3(1), 11–15.
<https://doi.org/10.34874/IMIST.PRSM/JOMODS-V3I1.38935>
- Filip, F. C., & Marascu-Klein, V. (2015). The 5S lean method as a tool of industrial management performances. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 95(1), 012127.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/95/1/012127>
- Lee, J. H., Chang, J. G., Tsai, C. H., & Li, R. K. (2010). Research on enhancement of TOC Simplified Drum-Buffer-Rope system using novel generic procedures. *Expert Systems with Applications*, 37(5), 3747–3754. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2009.11.049>
- Nandakumar, N., Saleeshya, P. G., & Harikumar, P. (2020). Bottleneck Identification And Process Improvement By Lean Six Sigma DMAIC Methodology. *Materials Today: Proceedings*, 24, 1217–1224. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.04.436>
- Rizkya, I., Syahputri, K., Sari, R. M., & Siregar, I. (2019). 5S Implementation in Welding Workshop – a Lean Tool in Waste Minimization. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 505(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/505/1/012018>
- Segura, G. (2017). Propuesta De Aplicación De La Metodología Dmaic De Seis Sigma En El Proceso De Limpieza De Las Habitaciones De Un Hotel. *Universidad Veracruzana*.

Anexos

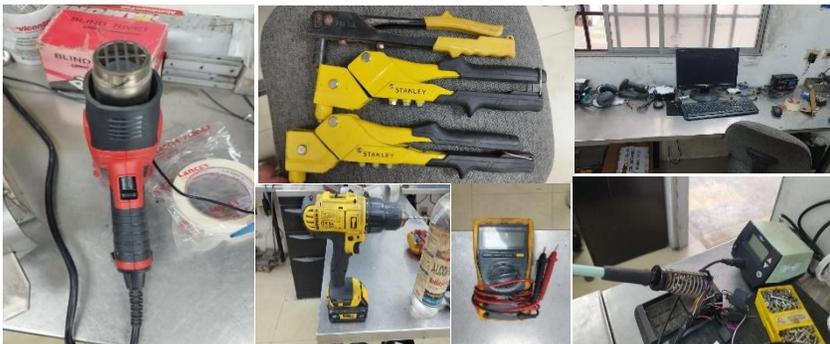
Anexo A Herramientas usadas en el área de mantenimiento para la reparación de candados.



Anexo B Materiales dentro del área de mantenimiento.



Anexo C Recopilación de equipos auxiliares usados en el área de mantenimiento.



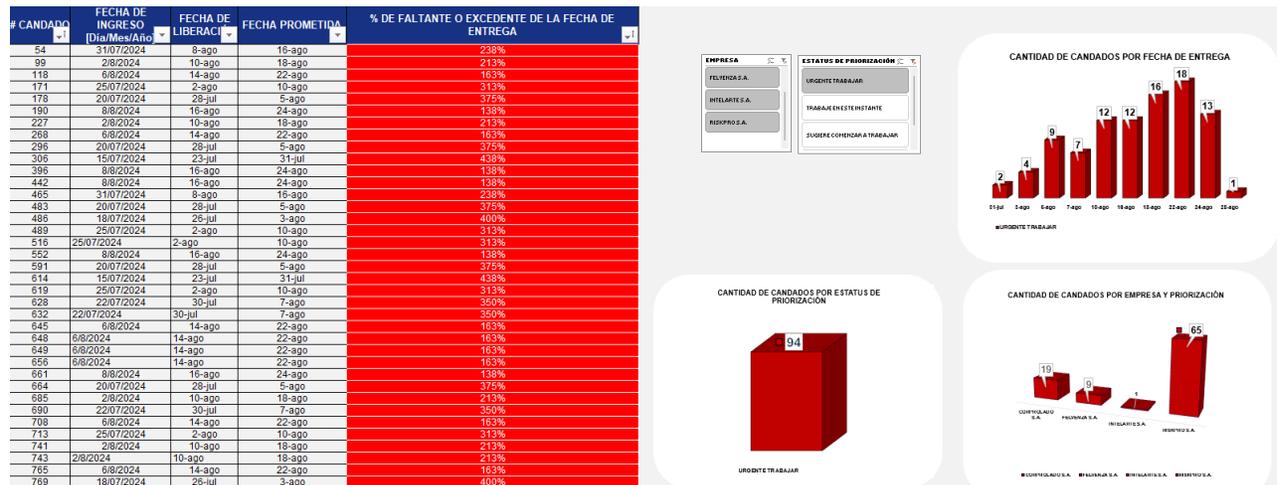
Anexo D Área de mantenimiento para reparación de candados.



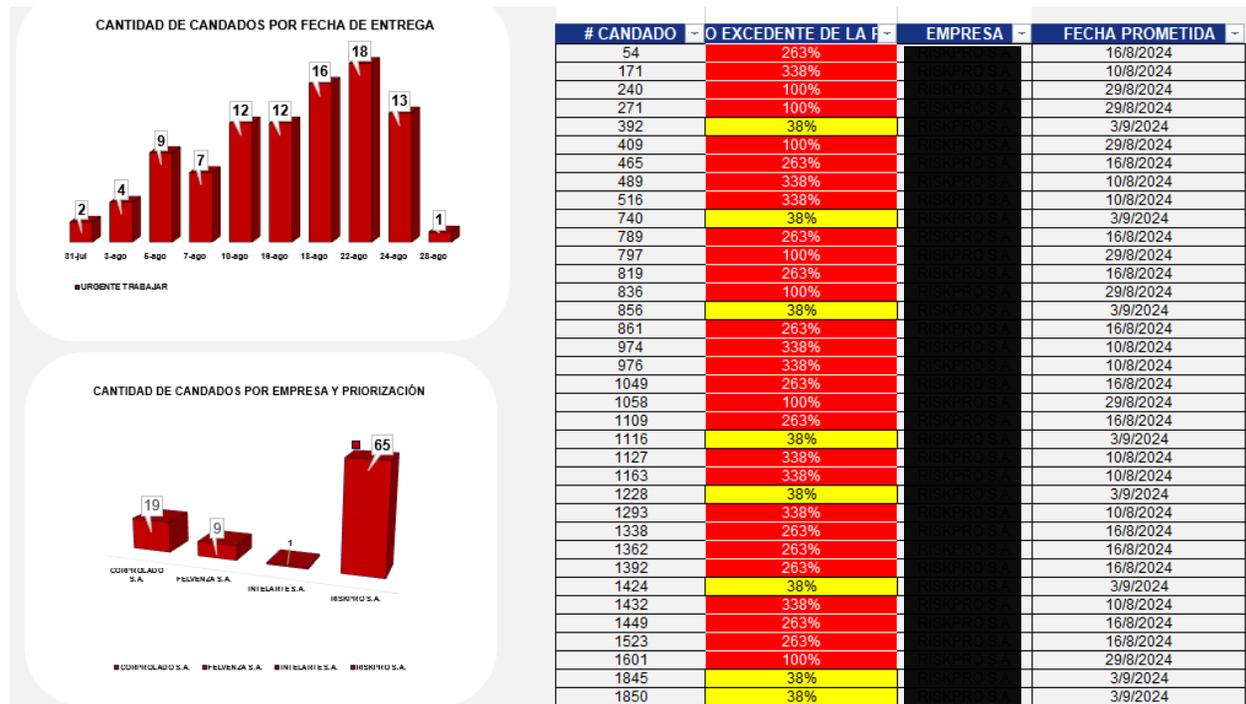
Anexo E Cuadro de mantenimiento mejorado.

		INFORMACIÓN DEL DOCUMENTO									
		CUADRO DE MANTENIMIENTOS DE CANDADOS		Versión: #		Código: REG OPE NNN		Fecha de aprobación: DD/MM/AAAA			
				Página 1 de 1							
N	FECHA DE INGRESO [Día/Mes/Año]	HORA DE INGRESO	ESTADO	# CANDADO	TIEMPO PARA ENTREGAR	FECHA PROMETIDA	FECHA DE LIBERACIÓN	% DE FALTANTE O EXCEDENTE DE LA FECHA DE ENTREGA	ESTATUS DE PRIORIZACIÓN	TIPO DE CANDADO	EMPRESA
1	25/07/2024	2:23:00 PM	PENDIENTE	1163	16	10-8-2024	2-8-2024	400%	URGENTE TRABAJAR	S	
2	25/07/2024	2:23:00 PM	PENDIENTE	974	16	10-8-2024	2-8-2024	400%	URGENTE TRABAJAR	S	
3	25/07/2024	9:38:00 AM	PENDIENTE	489	16	10-8-2024	2-8-2024	400%	URGENTE TRABAJAR	S	
4	25/07/2024	9:38:00 AM	PENDIENTE	976	16	10-8-2024	2-8-2024	400%	URGENTE TRABAJAR	S	
5	25/07/2024	9:38:00 AM	PENDIENTE	1127	16	10-8-2024	2-8-2024	400%	URGENTE TRABAJAR	S	
6	25/07/2024	9:38:00 AM	PENDIENTE	171	16	10-8-2024	2-8-2024	400%	URGENTE TRABAJAR	S	
7	25/07/2024	9:38:00 AM	PENDIENTE	1293	16	10-8-2024	2-8-2024	400%	URGENTE TRABAJAR	S	
8	25/07/2024	9:38:00 AM	PENDIENTE	516	16	10-8-2024	2-8-2024	400%	URGENTE TRABAJAR	S	
9	25/07/2024	9:38:00 AM	PENDIENTE	1432	16	10-8-2024	2-8-2024	400%	URGENTE TRABAJAR	S	
10	31/07/2024	7:30:00 AM	PENDIENTE	1392	16	16-8-2024	8-8-2024	325%	URGENTE TRABAJAR	S	
11	31/07/2024	7:30:00 AM	PENDIENTE	1523	16	16-8-2024	8-8-2024	325%	URGENTE TRABAJAR	S	
12	31/07/2024	7:30:00 AM	PENDIENTE	1049	16	16-8-2024	8-8-2024	325%	URGENTE TRABAJAR	S	
13	31/07/2024	7:30:00 AM	PENDIENTE	1109	16	16-8-2024	8-8-2024	325%	URGENTE TRABAJAR	S	
14	31/07/2024	7:30:00 AM	PENDIENTE	1338	16	16-8-2024	8-8-2024	325%	URGENTE TRABAJAR	S	
15	31/07/2024	7:30:00 AM	PENDIENTE	819	16	16-8-2024	8-8-2024	325%	URGENTE TRABAJAR	S	
16	31/07/2024	7:30:00 AM	PENDIENTE	1449	16	16-8-2024	8-8-2024	325%	URGENTE TRABAJAR	S	
17	31/07/2024	7:30:00 AM	PENDIENTE	861	16	16-8-2024	8-8-2024	325%	URGENTE TRABAJAR	S	
18	31/07/2024	7:30:00 AM	PENDIENTE	1362	16	16-8-2024	8-8-2024	325%	URGENTE TRABAJAR	S	
19	31/07/2024	7:30:00 AM	PENDIENTE	465	16	16-8-2024	8-8-2024	325%	URGENTE TRABAJAR	S	
20	31/07/2024	7:30:00 AM	PENDIENTE	54	16	16-8-2024	8-8-2024	325%	URGENTE TRABAJAR	S	
21	31/07/2024	7:30:00 AM	PENDIENTE	789	16	16-8-2024	8-8-2024	325%	URGENTE TRABAJAR	S	
22	2/8/2024	9:00:00 AM	PENDIENTE	1208	16	18-8-2024	10-8-2024	300%	URGENTE TRABAJAR	S	
23	2/8/2024	9:00:00 AM	PENDIENTE	1330	16	18-8-2024	10-8-2024	300%	URGENTE TRABAJAR	S	
24	2/8/2024	9:00:00 AM	PENDIENTE	1846	16	18-8-2024	10-8-2024	300%	URGENTE TRABAJAR	S	
25	2/8/2024	9:00:00 AM	PENDIENTE	99	16	18-8-2024	10-8-2024	300%	URGENTE TRABAJAR	S	

Anexo F Reporte de estatus de candados de acuerdo con su priorización.



Anexo G Listado de candados recomendados a entrar a reparación.



Anexo H Situación del taller de mantenimiento previo a la implementación de 5S.



Anexo I Estandarización de ubicaciones y etiquetas para los materiales como parte de la implementación de 5S.



Anexo J Manuales de implementación de 5S y limpieza



Seiri (Clasificación)

Objetivo:

Establecer un entorno de trabajo ordenado y eficiente en el taller de mantenimiento mediante la identificación, clasificación y eliminación de elementos innecesarios.

Paso 1: Preparación

1. Formar un equipo de trabajo:

- o Seleccionar a los miembros del taller que participarán en la implementación de la Primera S.
- o Asignar roles y responsabilidades dentro del equipo.

2. Capacitación del equipo:

- o Proporcionar formación sobre la metodología 5S, con un enfoque en la Primera S (**Seiri**).
- o Explicar la importancia de clasificar los elementos en el área de trabajo y los beneficios que traerá al taller.

Paso 2: Inspección Inicial

1. Recorrer el taller:

- o El equipo debe realizar una inspección visual de todas las áreas del taller (mesas de trabajo, estanterías, cajones, etc.).
- o Identificar y tomar nota de todos los elementos presentes en cada área.



Plan de Limpieza Diario

Cada trabajador deberá ejecutar el plan de limpieza en sus respectivas áreas y zonas de uso común de ser necesario:

1. Inicio de la Jornada (Primeros 5 Minutos):

- o **Revisión rápida del área de trabajo:** Verificar que no haya restos de materiales o herramientas fuera de lugar desde el día anterior.
- o **Organización de herramientas:** Asegurarse de que todas las herramientas estén en su lugar designado.
- o **Revisión de contenedores de residuos:** Verificar pequeños contenedores de basura o desechos en las áreas de trabajo.

2. Durante la Jornada:

- o **Mantenimiento del orden:** Al finalizar cada tarea, limpiar el área de trabajo respectivo (mesas, estanterías de trabajo) de polvo, grasa o residuos generados.
- o **Limpieza de derrames:** Limpiar inmediatamente cualquier derrame de líquidos (aceites, solventes, etc.) utilizando los materiales adecuados (absorbentes, trapos, detergentes específicos).
- o **Gestión de residuos:** Depositar los residuos generados en los contenedores apropiados (basura común, reciclables, residuos peligrosos).

3. Final de la Jornada (Últimos 5 Minutos):

- o **Servicio de piso:** Barrer toda el área de trabajo y, si es necesario, fregar el piso.
- o **Limpieza de superficies:** Limpiar mesas, bancos de trabajo, herramientas y maquinaria con un paño o trapo.

Anexo K Plantilla de auditoría 5S e Indicadores de gestión de 5S para la sostenibilidad de la metodología.

Plantilla Auditoría Metodología 5S

Sistema de puntuación

	Objetivo	Real
0 Inexistente - No se aprecia ninguna realidad respecto a lo preguntado	1º s	20
1 Insuficiente - El grado de cumplimiento es menor del 20%	2º s	20
2 Bien - El grado de cumplimiento es mayor del 20% y menor del 50%	3º s	20
3 Suficiente - El grado de cumplimiento es mayor del 50% y menor que 80%	4º s	20
4 Excelente - El grado de cumplimiento es mayor del 80%	5º s	20
5 Excelente - El grado de cumplimiento es igual al 100%	Total	100

Un sitio para cada cosa y cada cosa en su sitio
No es más limpio el que más limpia sino el que menos ensucia

1º s
Separar y eliminar innecesario

Calificación:

- ¿Se han eliminado del área de trabajo los elementos innecesarios que no se utilizan en el mantenimiento de los dispositivos?
- ¿Se ha realizado una revisión reciente para identificar herramientas o materiales que puedan ser descartados o almacenados en otro lugar?
- ¿Se han separado claramente los elementos esenciales de los no esenciales en las áreas de trabajo?
- ¿Hay un lugar específico designado para los elementos desechables o sobrantes del mantenimiento?

Total: 0

2º s
Situar e identificar necesarios

Calificación:

- ¿Están todas las herramientas y equipos organizados en lugares específicos y claramente etiquetados para facilitar su localización?
- ¿Se están utilizando sistemas de organización visual como etiquetas o marcadores para identificar rápidamente las herramientas y equipos?
- ¿Se revisan regularmente los espacios de almacenamiento para asegurarse de que todo esté en su lugar asignado?
- ¿Hay un sistema claro y accesible para que todos los trabajadores puedan devolver las herramientas y equipos a su lugar después de usarlos?

Total: 0

Evolución global auditorías 5s

Resultados 1º s

Resultados 2º s

Resultados 3º s

Resultados 4º s

Resultados 5º s

Radar 5S

Anexo L Cálculo del buffer de tiempo o contingencia para cambio de la fecha de promesa de entrega.



Para ser conservador...

$$\text{Tiempo Necesario} = \frac{61[\text{Candados}]}{25 \left[\frac{\text{Candados}}{\text{Semanas}} \right]}$$

Tiempo Necesario = 2.44 Semanas

Fecha prometida de entrega propuesta

●● 12,2 Días ≈ 13 Días



Sistema de Capacidad

Actual
Producción Semanal
25 Candados por semana

1 Semana ≡ 5 Días
Días que hace referencia a Días Laborales

Demanda Mensual Worst Case

243 Candados S por Mes



61 Candados

Anexo M Obtención del porcentaje de obsolescencia



Anexo N Obtención de operadores entrenados en metodologías de mejora continua

