

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Reducción del tiempo de liberación de cilindros en el taller de mantenimiento

INGE-3082

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros Industriales

Presentado por:

Jaime Jaime Michael Gabriel

Jiménez Ochoa Andrés Alberto

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios, por la fortaleza y sabiduría que me permitieron culminar esta etapa.

A mis padres, Octavio y María, por su apoyo incondicional y confianza constante; a mis hermanos Alexandra y Noheli, por su acompañamiento permanente; y de manera especial a Luis y a su empresa Master BTU, por haber sido un apoyo durante el desarrollo de mi carrera.

Este logro representa un esfuerzo compartido y un triunfo familiar.

Michael Gabriel Jaime Jaime

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios, por las bendiciones recibidas y por darme la sabiduría para transformar el esfuerzo en resultados.

Dedico este trabajo de manera especial a mis padres, por su apoyo incondicional y por haber creído en mí incluso en los momentos de mayor incertidumbre; este logro les pertenece tanto a ellos como a mí.

Asimismo, lo comparto con mis hermanos, con quienes celebro con profunda alegría alcanzar esta meta cumplida.

Andrés Alberto Jiménez Ochoa.

Agradecimientos

Expreso mi agradecimiento a la empresa por brindarme la oportunidad de desarrollar este proyecto y facilitar el acceso a la información necesaria para su ejecución.

Agradezco de manera especial a mi tutora, M.Sc. Fernanda López, por su guía y aportes académicos.

Agradezco a los amigos que hice a lo largo de la universidad y en mi trabajo mientras cursaba la carrera por su apoyo incondicional ya que los considero como familia, en especial a mi compañero de proyecto Andrés, de igual manera a Jennifer, Aarón, Mateo, Alicia, Flavio, Alan y Alba.

Finalmente agradezco a ESPOL y a su cuerpo docente por las enseñanzas que contribuyeron a mi formación profesional.

Michael Gabriel Jaime Jaime

Agradecimientos

Expreso mi agradecimiento a la empresa por la apertura brindada y por permitirme el acceso a sus instalaciones para el desarrollo de este proyecto de titulación.

De igual manera, agradezco a mi tutora, M.Sc. Fernanda López, por su orientación experta, sus valiosos consejos y la paciencia dedicada a guiar este proyecto hacia el éxito. Asimismo, hago un reconocimiento especial a mi compañero de proyecto Michael, por su compromiso, trabajo en equipo y el esfuerzo compartido en cada etapa de este desafío académico.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a la ESPOL y a todo el cuerpo docente que formó parte de mi trayectoria académica; sus enseñanzas y exigencia constante contribuyeron a mi desarrollo profesional.

Andrés Alberto Jiménez Ochoa.

Declaración Expresa

Nosotros Gabriel Michael Jaime Jaime y Andres Alberto Jimenez Ochoa acordamos y reconocemos que:

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

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

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

Guayaquil, 15 de Octubre del 2025.

Gabriel Michael Jaime

Jaime

Andres Alberto Jimenez

Ochoa

Evaluadores

Sofía Anabel López I., M.Sc.

Profesor de Materia

María Fernanda López S., M.Sc.

Tutor de proyecto

Resumen

El presente proyecto se centra en la reducción del tiempo de liberación de cilindros en un taller de mantenimiento industrial en Guayas, Ecuador, donde las demoras operativas afectaban la cadena de suministro y el nivel de servicio al cliente final. El objetivo general fue disminuir el promedio de liberación de 12,86 días a 10 días mediante la metodología DMAIC en un periodo de cuatro meses. Para el desarrollo, se utilizaron herramientas de manufactura esbelta como el diagrama SIPOC, necesidades del cliente, mapeo de procesos y verificaciones de causas raíz.

Los resultados del diagnóstico identificaron que el 42% de las actividades no agregaban valor y que el proceso se encontraba fuera de control estadístico debido a la selección aleatoria de cilindros. Tras implementar soluciones basadas en estandarización de registros, sistemas FIFO y tableros Kanban digitales, se logró estabilizar el proceso al 100%. El tiempo promedio de liberación se redujo a 10,96 días, representando una mejora del 15% en el ciclo total y una reducción del 66% del GAP inicial. Se concluye que la gestión visual y la disciplina en el flujo de materiales son determinantes para la excelencia operacional.

Palabras Clave: DMAIC, Gestión de Mantenimiento, FIFO, Tablero kanban.

Abstract

This project focuses on reducing the cylinder release lead time within an industrial maintenance workshop located in Guayas, Ecuador, where operational delays were adversely impacting the supply chain and final customer service levels. The primary objective was to decrease the average release time from 12.86 days to 10 days by applying the DMAIC methodology over a four-month period. The development phase utilized Lean Manufacturing tools, including SIPOC diagrams, Voice of the Customer, process mapping, and root cause verification.

The diagnostic results revealed that 42% of activities were non-value-added and that the process was statistically out of control due to the randomized selection of cylinders.

Following the implementation of solutions based on record standardization, FIFO systems, and digital Kanban boards, the process achieved 100% stabilization. The average release time was reduced to 10.96 days, representing a 15% improvement in the total cycle and a 66% reduction in the initial gap. It is concluded that visual management and material flow discipline are decisive factors in achieving operational excellence.

Keywords: DMAIC, Maintenance Management, FIFO, Kanban Board

Índice General

Resumen.....	I
<i>Abstract</i>	II
Índice General.....	III
Abreviatura	VII
Simbología	VIII
Índice de Figuras.....	IX
Índice de Tablas	XII
Capítulo 1.....	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del Problema	2
1.3 Justificación del Problema	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5 Marco teórico	4
Capítulo 2.....	8
2. Metodología.	9
2.1 Definir	9
2.1.1 Antecedentes del Cliente.....	9
2.1.2 Diagrama SIPOC.....	9
2.1.3 Necesidades del Cliente	10
2.1.4 Definición de las Variables de Interés	12
2.1.5 Definición del Problema	13

2.1.6	Análisis del GAP	13
2.1.7	Métricas de Sostenibilidad	14
2.1.7.1	Métrica Económica.	14
2.1.7.2	Métrica Social	14
2.1.7.3	Métrica Medioambiental.	15
2.2	Medir	15
2.2.1	Mapeo de Proceso	15
2.2.2	Plan de Recolección de Datos	17
2.2.3	Análisis de Confiabilidad de los Datos	19
2.2.3.1	Prueba de Normalidad de los Datos Históricos.	19
2.2.3.2	Prueba de Normalidad Datos Actuales (Octubre – Noviembre).....	20
2.2.4	Confiabilidad de los Datos	21
2.2.4.1	Confiabilidad de Datos Históricos vs Actuales.	23
2.2.5	Análisis de Estabilidad y Capacidad	24
2.2.6	Estratificación	27
2.2.7	Problema Enfocado	28
2.3	Análisis	29
2.3.1	Lluvia de Ideas	29
2.3.2	Diagrama ISHIKAWA.....	29
2.3.3	Ponderación de Causas.....	30
2.3.4	Matriz Impacto-Control	32
2.3.5	Plan de Verificación de Causas.....	33

2.3.5.1 Verificación de la Causa Potencial (26): “Registro tardío de las salidas de cilindros, lo que provoca una falta de coordinación entre el taller de mantenimiento y distribución.”.....	33
2.3.5.2 Verificación de la Causa Potencial (7): “Selección aleatoria de cilindros en el área de espera antes de mantenimiento”.	34
2.3.5.3 Verificación de la Causa Potencial (5): “Deficiencias operacionales en los equipos y recursos clave para la prueba hidrostática.”.....	34
2.3.6 Análisis de Causa Raíz.....	35
2.4 Mejora	36
2.4.1 Soluciones Potenciales	37
2.4.2 Costos Estimados de las Propuestas de Soluciones	37
2.4.3 Matriz de Priorización Impacto-Esfuerzo	38
2.4.4 Plan de Implementación	39
2.4.5 Implementación de las Soluciones	40
2.4.5.1 Estandarización del proceso de registro y control del estado de liberación de la guía del cilindro.....	40
2.4.5.2 Implementación de un sistema general FIFO y tarjeta kanban para gestionar el flujo de cilindros en el taller.....	43
2.4.5.3 Implementación de un sistema de visualización operativa KANBAN mediante un panel de control digital para la gestión en tiempo real del flujo de cilindros.....	46
2.5 Control	49
2.5.1 Plan de Control.....	49
3.5 Plan de Reacción.....	50

Capítulo 3.....	52
3. Resultados y Análisis.....	53
3.1 Resultados de las Soluciones	53
3.2 Prueba de Normalidad.....	54
3.3 Estabilidad y Capacidad del estado final	55
3.4 Validación Estadística (Pruebas T-Welch y Mann-Whitney).....	57
3.5 Métricas de Sostenibilidad	58
3.5.1 Impacto Económica.....	58
3.5.2 Impacto Social.....	59
3.5.3 Impacto Ambiental.....	59
Capítulo 4.....	61
4. Conclusiones y Recomendaciones	62
4.1 Conclusiones	62
4.2 Recomendaciones	63
Referencias.....	64
Apéndices.....	65

Abreviatura

CTQ	Critical to Quality
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve and Control
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIFO	First-In, First-Out
KPI	Key Performance Indicator (Indicador Clave de Desempeño)
OTIDA	Operación, Transporte, Inspección, Demora y Almacenamiento.
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs, and Customer
TBL	Triple Bottom Line
VOC	Voice of Customer

Simbología

H_0	Hipótesis nula
H_1	Hipótesis alternativa
min	Minutos
N	Tamaño de muestra
η_1	Supuesto de la mediana de la prueba Mann-Whitney
η_2	Supuesto de la mediana de la prueba Mann-Whitney
μ_1	Supuesto de la media de la prueba T-Welch
μ_2	Supuesto de la media de la prueba T-Welch
%	Porcentaje

Índice de Figuras

Figura 1 SIPOC del proceso de mantenimiento de cilindros.....	9
Figura 2 VOC de los actores involucrado.....	10
Figura 3 Diagrama de afinidad a partir de las necesidades del cliente	11
Figura 4 Árbol CTQ (Critical to Quality)	11
Figura 5 Grafica de serie de tiempo de liberación por número de orden de cilindros.....	12
Figura 6 Metodología 3W+2H.....	13
Figura 7 Análisis del GAP del tiempo de liberación de cilindros.....	13
Figura 8 Triple Bottom Line (TBL).....	14
Figura 9 Mapeo de Proceso del taller de mantenimiento.....	16
Figura 10 Plan de Recolección de Datos	18
Figura 11 Prueba de Normalidad de los Datos Históricos.....	19
Figura 12 Prueba de Normalidad de los Datos Actuales	21
Figura 13 Confiabilidad de Datos: registro manual de los datos al sistema	22
Figura 14 Prueba Mann Whitney y diferencia de medias de los datos históricos vs datos actuales.....	22
Figura 15 Muestra de Órdenes de Mantenimiento.....	23
Figura 16 Serie de Tiempo de la Proporción de No Conformes.....	25
Figura 17 Carta de Control I-MR del Proceso	26
Figura 18 Pareto por tipo de producto de la variable: Tiempo de espera antes de mantenimiento.....	27
Figura 19 Pareto por capacidad de cilindro de la variable: Tiempo de espera antes de mantenimiento.....	28
Figura 20 Lluvia de Ideas de las Causas Potenciales.....	29
Figura 21 Diagrama de ISHIWAKA de las Causas Potenciales.....	30

Figura 22 Ponderación de las Causas Potenciales con los Diferentes Actores.....	31
Figura 23 Pareto de las causas potenciales	32
Figura 24 Matriz Impacto-Control de las causas potenciales	32
Figura 25 Plan de Verificación de las Causas Potenciales Seleccionadas.....	33
Figura 26 Prueba Estadística para la Verificación de la Causa Potencial 26.....	34
Figura 27 Prueba Estadística para la Verificación de la Causa Potencial 5.....	35
Figura 28 Obtención de Causa Raíz 1 usando herramienta 5 porqués	35
Figura 29 Obtención de Causa Raíz 2 usando herramienta 5 porqués	36
Figura 30 Obtención de Causa Raíz 3 usando herramienta 5 porqués	36
Figura 31 Soluciones potenciales propuestas	37
Figura 32 Costo de Implementación de cada solución planteada	38
Figura 33 Matriz Impacto-Esfuerzo de las soluciones propuestas.....	39
Figura 34 Plan de Implementación de las soluciones establecidas.....	40
Figura 35 Inconsistencia en el registro de las guías de cilindros	41
Figura 36 Actualización del Estatus de los Cilindros	43
Figura 37 Socialización con el personal operativo sobre metodología FIFO	43
Figura 38 Ordenamiento de los cilindros en las zonas FIFO establecidas	44
Figura 39 Designación de las zonas FIFO establecidas.....	45
Figura 40 Implementación de las Tarjetas kanban en las guías de cilindros	46
Figura 41 Referencia del Prototipo de alta Resolución de la Solución.....	47
Figura 42 Referencia del Prototipo de Baja Resolución de la Solución	48
Figura 43 Integración de los controles visuales al sistema de la empresa	49
Figura 44 Plan de Control de las Soluciones	50
Figura 45 Plan de Reacción de las Soluciones.....	51
Figura 46 Serie de tiempo de liberación del cilindro luego de la implementación de mejoras	53

Figura 47 Prueba de normalidad de los datos de la implementación.....	54
Figura 48 Grafica I-MR de las soluciones implementadas	55
Figura 49 Capacidad de las soluciones implementadas	56
Figura 50 Diagrama de caja de la comparación antes vs después de las soluciones implementadas	58

Índice de Tablas

Tabla 1 Clientes involucrados en el proceso de mantenimiento.....	10
Tabla 2 Fábricas ocultas y cuellos de botella.....	16
Tabla 3 Actividades que agregan valor, no agregan valor y no agregan valor, pero son necesarias	17
Tabla 4 Tabla de No Conformidad	24
Tabla 5 Ponderaciones de las Causas Potenciales	30
Tabla 6 Planificación de Registro por Operador.....	42
Tabla 7 Registro de las órdenes de cilindros en las zonas FIFO	45

Capítulo 1

1.1 Introducción

El sector de la producción y distribución de gases médicos e industriales constituye un componente fundamental de la infraestructura económica y sanitaria, lo que exige índices altos de calidad, seguridad y eficacia operacional. En esta coyuntura, la gestión oportuna del mantenimiento de los cilindros de gas es un factor crítico. El mecanismo de mantenimiento afianza la integridad del producto, avala el cumplimiento normativo y; en esencia, garantiza la facultad de la compañía para cumplir con los períodos de entrega a sus clientes.

La trascendencia de este proyecto se fundamenta en la identificación de un problema sistémico dentro del taller de mantenimiento. Los retrasos en el proceso impactan de forma directa la cadena de suministro y logran insatisfacción en el cliente final. La problemática habita en la negligencia operacional que extiende el lapso de liberación de los cilindros, lo que conlleva a un incumplimiento asiduo de los objetivos de servicio. La resolución de este problema, además de optimizar recursos internos, también respalda la capacidad de devolución de la compañía en un mercado vasto y competitivo.

El escogimiento de la metodología Lean Six Sigma (DMAIC) permite diagnosticar, participar y manejar variables complejas al evidenciar la aplicación práctica de herramientas de optimización gradual (El-Homsi & Mtawa, 2023). Esta vinculación produce un efecto superlativo en el rubro productivo, al reducir el lead time; lo que se distingue en costos operativos menores y en un incremento del nivel de servicio que la entidad puede entregar.

1.2 Descripción del Problema

El proyecto en curso estudia los retrasos significativos en la liberación de cilindros en el taller de mantenimiento de una corporación industrial especializada en la producción y distribución de gases médicos e industriales, que labora desde sus instalaciones en Durán – Tambo, Guayas, Ecuador. Este conflicto deteriora directamente en la cadena de suministro, lo

que causa un incumplimiento en los objetivos establecidos del servicio y compromete la competitividad de la institución en un campo muy riguroso.

Las variables de interés preponderantes engloban el tiempo de permanencia de cada cilindro en el taller, el número de cilindros en cola, el porcentaje de reprocesos por fallas detectadas y los intervalos de espera en cada fase del proceso de mantenimiento. Dichas variables permiten efectuar asiduas mediciones y emplear análisis sistemáticos canalizados a la detección de oportunidades de avance, para continuar con los principios de la metodología DMAIC.

Asimismo, las restricciones actuales añaden la facultad instalada del taller, la recursividad de repuestos, la cantidad de técnicos calificados y el cumplimiento de normativas de seguridad. Todos elementos que coartan la agilidad de respuesta del proceso.

1.3 Justificación del Problema

La disminución de los tiempos de liberación es esencial en el período actual del taller, porque logra minimizar los gastos operativos relacionados a horas extras y reprocesos. De la misma manera, este acuerdo aumenta la productividad mediante una disposición óptima de activos y robustece la marca de la empresa ante sus clientes, al asegurar entregas fiables y oportunas. Asimismo, aligera el cumplimiento de indicadores de sostenibilidad en los rubros económico, social y ambiental.

Por consiguiente, la solución de esta problemática es importante, debido a que un flujo de liberación eficaz viabiliza la seguridad operativa de la nómina. Al suprimir los cuellos de botella, se contrarresta la aglomeración innecesaria de cilindros en zonas específicas de flujo, lo cual disminuye de forma pronunciada el riesgo de incidentes laborales. En consecuencia, optimizar este mecanismo influye en la rentabilidad y asegura un ambiente de trabajo más prolijo. Por último, la intromisión oportuna en estas épocas de

respuestas propicia que el taller se establezca como una unidad estratégica estructural que posibilita el continuismo operativo de toda la cadena de valor de la empresa.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general*

Minimizar el tiempo de liberación de cilindros en el taller de una media de 12,86 días a 10 días, mediante la implementación de herramientas de mejora continua en los próximos cuatro meses, mejorando así el nivel de servicio.

1.4.2 *Objetivos específicos*

- Identificar las principales causas de los retrasos en el tiempo de liberación del cilindro basándose en el análisis de los datos del proceso.
- Implementar soluciones que reduzcan el tiempo de liberación de los cilindros en el taller de mantenimiento.
- Evaluar la eficacia de las mejoras implementadas en el taller de mantenimiento.

1.5 Marco teórico

En la actualidad, las empresas industriales indagan asiduamente formas de mejorar sus procesos, reducir errores y optimizar la eficiencia de sus operaciones, para ser más prósperas. Estos retos se estudian mediante metodologías consolidadas como Six Sigma y Lean Manufacturing, que dan el origen a herramientas prácticas orientadas al progreso constante.

Metodología DMAIC

Dentro de este contexto, se destaca la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), la cual se sostiene en un enfoque para solucionar conflictos y conseguir mejoras sostenibles en los procesos. En la fase de **Definición**, se delimita el alcance del proyecto de liberación de cilindros y se decretan los objetivos estratégicos. La fase de

Medición permite recolectar datos sobre el desempeño actual para establecer una línea base confiable. Durante el **Análisis**, se emplean recursos para identificar las razones esenciales de los retrasos. En la etapa de **Mejora**, se diseñan e implementan resoluciones específicas, y finalmente, en el período de **Control**, se establecen mecanismos para fundamentar los beneficios alcanzados y prevenir la regresión al estado predecesor.

La metodología DMAIC ha mostrado ser efectiva en una vasta gama de industrias y permite obtener resultados como disminución de tiempos, reducción de trabajos y mejor gratificación del cliente, siempre al utilizar información concreta y analizar los cambios de manera minuciosa (Ahmed et al., 2022).

Voice of customer (VOC)

La Voz del Cliente (VOC) es el mecanismo sistemático para recoger las expectativas, preferencias y hostilidades de los clientes, tanto internos como externos. En este contexto del proyecto en el taller de mantenimiento, la VOC permite comprender los aspectos de la liberación de cilindros que son críticos para la operación de la entidad. De hecho, sin un concepto diáfano de estos requisitos, cualquier intento de progreso supone el riesgo de optimizar indicadores que no generan un impacto real en el continuismo operativo de la empresa y desembocan en una eficacia obsoleta (Pyzdek & Keller, 2021).

Diagrama SIPOC

El diagrama SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers) actúa como una herramienta de visualización de nivel superlativo que identifica a todos los actores y elementos que convergen en el flujo de trabajo. Al observar el proceso de forma macro, el equipo de proyecto puede identificar límites de responsabilidad y garantizar que todos los responsables de la cadena estén encauzados para propiciar una liberación de activos más efectivo (Emory ORA, 2025).

Critical to Quality (CTQ)

El CTQ Tree es una herramienta de Six Sigma que distingue la Voz del Cliente (VOC) en indicadores cuantitativos y cualitativos de rendimiento. Con base a este argumento, el diagrama posibilita hallar necesidades críticas y controladores de calidad para establecer requerimientos medibles y concretos. Su preponderancia para el proyecto se sostiene en eliminar la ambigüedad operativa al elegir requisitos y determinar límites de tolerancia específicos. Por consiguiente, esta estructura asegura que las mejoras en el taller se elaboren bajo parámetros de ingeniería que satisfagan cabalmente las exigencias de la cadena de valor (George et al., 2023).

Análisis del GAP

El Análisis de GAP es un proceso de evaluación comparativa que mide la distancia entre el rendimiento actual de un sistema y su estado óptimo o deseado. Su trascendencia para el proyecto se establece en que permite cuantificar la oportunidad de progreso y justificar técnicamente la necesidad de intromisión. De esa manera, al determinar diáfananamente la grieta entre estricto presente y visión a largo plazo, se pueden destacar programas de acción concretos que terminen la brecha operativa de forma estratégica (Wheelen et al., 2021).

Pruebas de normalidad

La Prueba de Normalidad es un requisito estadístico esencial que supervisa la distribución de los datos recolectados, para proseguir con una distribución habitual o campana de Gauss. Desde esta percepción, su administración es crítica antes de proceder con el análisis de facultad o estabilidad, debido a la validez de las suposiciones estadísticas, que también depende del cumplimiento de este supuesto al afirmar que los datos de los intervalos de liberación son normales, y que determina que las decisiones de progreso no estén sustentadas en procesos erróneos o fuera de registro estadístico (Mishra et al., 2019).

GEMBA

La práctica del Gemba postula que el entendimiento auténtico de los conflictos, solo se logra en la zona palpable donde sucede la acción. En tal sentido, se define al *Gemba Walk* como una herramienta que estimula el progreso constante, basado en la evidencia física y la interacción directa con los operarios (Sajan et al., 2023). De esta forma, la relevancia de la técnica para el proyecto radica en su facultad para publicar desperdicios invisibles en reportes, tales como movimientos infructíferos o demoras logísticas.

Sistema FIFO (First-In, First-Out)

El sistema FIFO es una regla de gestión de flujo que avala que el primer elemento en ingresar a un proceso sea el primero en ser contemplado. Al mantener la dinámica original de llegada, se disminuye drásticamente la alternancia en los intervalos de respuesta, para garantizar una rotación óptima que propicie la planificación de la capacidad instalada (García et al., 2020).

Capítulo 2

2. Metodología.

2.1 Definir

Durante la etapa inicial, se llevó a cabo un análisis de la situación actual de la empresa, lo cual permitió identificar el problema principal. Además, se definieron las variables e indicadores clave para evaluar el desempeño del proyecto a lo largo de su desarrollo.

2.1.1 Antecedentes del Cliente

La compañía es una entidad industrial especializada en la producción y distribución de gases médicos e industriales, y opera desde sus instalaciones en Durán – Tambo, Guayas, Ecuador. Se identificó a la Jefa de distribución y almacén como la cliente clave del proyecto.

2.1.2 Diagrama SIPOC

El SIPOC como se observa en la Figura 1, se centró en el proceso desde la recepción de las ordenes de cilindros, el proceso de mantenimiento y la entrega al cliente clave que en este caso es el área de distribución de la empresa.

Figura 1

SIPOC del proceso de mantenimiento de cilindros

S (Proveedores)	I (Entradas)	P (Procesos)	O (Salidas)	C (Clientes)
Área de recepción externa	<ul style="list-style-type: none"> Cilindros de otras sucursales y clientes externos Personal de recepción y transporte interno Guía de entrega de cilindros. 	<ul style="list-style-type: none"> Recepción inicial e inspección de cilindros Clasificación (pintura, PH, sustitución de válvulas) Asignación de procesos (mantenimiento o llenado) 	<ul style="list-style-type: none"> Cilindros identificados y registrados. Reducción de los tiempos de espera en la entrada. Guía de envío 	<ul style="list-style-type: none"> Operadores de taller de mantenimiento Operadores de carretillas elevadoras
Almacén de repuestos	<ul style="list-style-type: none"> Válvulas, pinturas, etiquetas Equipo de medición 	<ul style="list-style-type: none"> Suministro de materiales a las estaciones de trabajo Control de inventario y reposición de existencias Sustitución de piezas 	<ul style="list-style-type: none"> Componentes entregados a tiempo Reducción del tiempo de inactividad debido a la falta de materiales. Disponibilidad continua de piezas de repuesto Guía de envío de repuestos 	<ul style="list-style-type: none"> Taller de mantenimiento
Departamento de Calidad	<ul style="list-style-type: none"> Formularios de inspección y hoja de control Equipos de control de calidad 	<ul style="list-style-type: none"> Verificación del cumplimiento técnico mediante pruebas Revisión final y aprobación de lotes Generar informes de cumplimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> Cilindro certificado según la norma Informe de inspección y trazabilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> Operaciones y logística (interna) Distribuidores y clientes finales

2.1.3 Necesidades del Cliente

A través de entrevistas con los principales actores del proceso de mantenimiento de cilindros, se logró identificar las necesidades específicas de cada uno, información que se plasmó en la Tabla 1.

Tabla 1

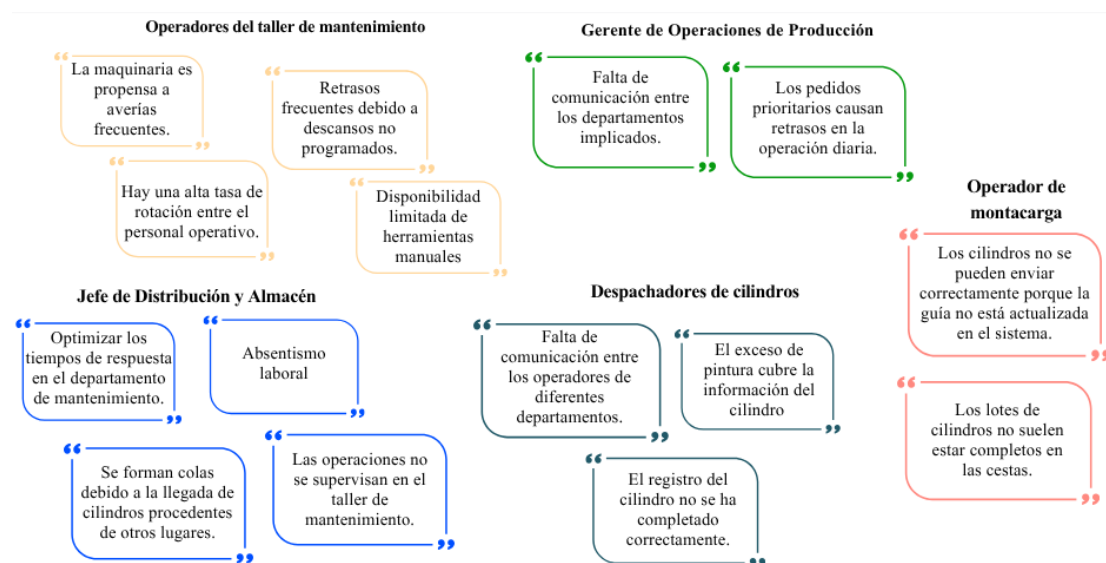
Cientes involucrados en el proceso de mantenimiento

Cliente Clave			
Jefa de Distribución y Almacén			
Receptor directo de los cilindros			
Clientes Internos			
Operadores de montacargas	Distribuidores de cilindros	Operadores de mantenimiento	Gerente de Operaciones de Producción

Mediante la herramienta VOC (Voz del Cliente), permitió identificar, recopilar y examinar las percepciones de los clientes vinculados al proceso de mantenimiento, lo cual quedó reflejado en la Figura 2.

Figura 2

VOC de los actores involucrado



Posteriormente, en la Figura 3 se observa el diagrama de afinidad, esta herramienta visual ayudó a clarificar los principales temas de interés como la comunicación entre departamentos, trazabilidad de los cilindros, gestión de mantenimiento, logística interna y gestión del personal.

Figura 3

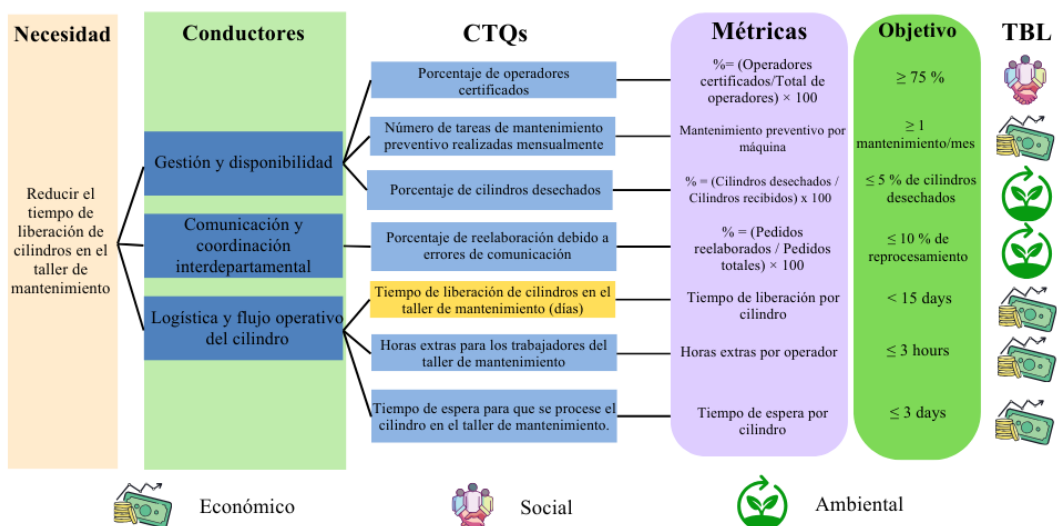
Diagrama de afinidad a partir de las necesidades del cliente

Comunicación y coordinación entre departamentos	Registro y trazabilidad de cilindros	Control y gestión del mantenimiento	Logística interna y tiempos de respuesta	Gestión de personal y rotación
Falta de comunicación entre los departamentos implicados.	El exceso de pintura cubre la información del cilindro.	Las operaciones no se supervisan en el taller de mantenimiento.	Optimizar los tiempos de respuesta en el departamento de mantenimiento.	Hay una alta tasa de rotación entre el personal operativo.
Falta de comunicación entre los operadores de diferentes departamentos.	El registro del cilindro no se ha completado correctamente.	Maquinaria propensa a averías frecuentes.	Las colas se generan debido a la llegada de cilindros procedentes de otras ubicaciones.	Absentismo entre los operadores.
Los pedidos prioritarios provocan retrasos en las operaciones diarias.		Retrasos frecuentes debido a paradas no programadas.	Las ordenes de cilindros no suelen estar completos en los kits de inicio.	
Los cilindros no se pueden enviar correctamente porque la guía no está actualizada en la plataforma.		Disponibilidad limitada en herramientas manuales.	El registro del cilindro no se ha completado correctamente.	

Finalmente, a través del árbol CTQ (Critical to Quality), Figura 4, se transformaron los requerimientos de los clientes en indicadores cuantitativos específicos y medibles para el proceso de mantenimiento de cilindros. En este contexto, se seleccionó como variable de respuesta el tiempo de liberación del cilindro en el taller de mantenimiento.

Figura 4

Árbol CTQ (Critical to Quality)



2.1.4 Definición de las Variables de Interés

Al analizar el CTQ (Crítico para la Calidad) se identificó la variable de interés principal para el proyecto desarrollado en el proyecto, la cual correspondió al "Tiempo de liberación de cilindros en el taller de mantenimiento". La variable quedó representada en la ecuación 2.1.

$$Y \text{ [días]} = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \quad (2.1)$$

Donde:

X_1 = Tiempo de recepción de los lotes de cilindros

X_2 = Tiempo de espera en el área de mantenimiento

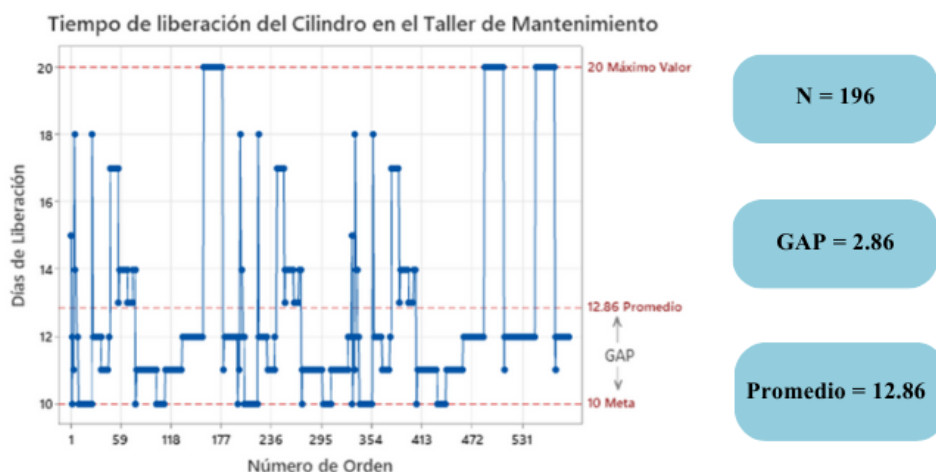
X_3 = Tiempo dedicado a las actividades realizadas en el taller de mantenimiento

X_4 = Tiempo de espera para el despacho

En la Figura 5, se evidencio en la serie de tiempo una fuerte variabilidad en los días de liberación por número de orden de mantenimiento, con un rango que va desde 10 hasta 20 días. El promedio de liberación se sitúa en 12,86 días, superando la meta interna de 10 días y evidenciando un GAP de 2,86 días.

Figura 5

Grafica de serie de tiempo de liberación por número de orden de cilindros



2.1.5 Definición del Problema

Por medio de la herramienta 3W+2H (Figura 6), nos permitió declarar el siguiente problema: “Desde enero de 2025, el tiempo medio de liberación de cilindros en el taller de mantenimiento ha superado los 12,86 días, superando el límite objetivo de 10 días por número de orden de reparación.”

Figura 6

Metodología 3W+2H

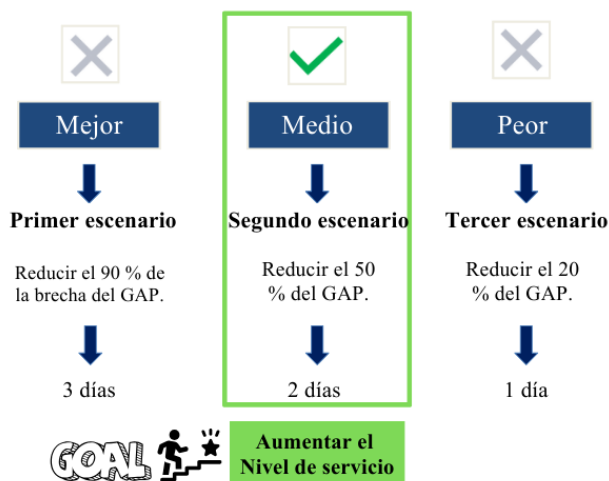


2.1.6 Análisis del GAP

Tras identificar la brecha crítica en los tiempos de liberación, se evaluaron tres niveles de intervención para determinar la viabilidad del proyecto. En consecuencia, y tal como se constató en la Figura 7, el segundo escenario se estableció como la meta estratégica, lo que permitió reducir el 50% del GAP y estabilizó el tiempo de respuesta en 2 días.

Figura 7

Análisis del GAP del tiempo de liberación de cilindros



2.1.7 Métricas de Sostenibilidad

Se establecieron tres medidas con el objetivo de vincularlas con los tres pilares de la sostenibilidad definidos en el modelo TBL (Triple Bottom Line): el económico, el social y el ambiental (véase Figura 8).

Figura 8

Triple Bottom Line (TBL)



2.1.7.1 Métrica Económica. La métrica económica se enfocó en la reducción de los costes por horas extras asociados con el reproceso y actividades retrasadas en el taller. Esta iniciativa contribuye directamente al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 12, "Producción y consumo responsables", ya que promueve la eficiencia en el uso de recursos y ayuda a minimizar pérdidas financieras derivadas de procesos ineficientes.

2.1.7.2 Métrica Social. Desde la perspectiva social, se reforzó la formación del personal, lo que permitió mejorar su productividad y garantizar mayores niveles de seguridad en el lugar de trabajo. Esta acción se relaciona estrechamente con el ODS 8, "Trabajo decente y crecimiento económico", dado que fomenta entornos laborales más seguros y productivos, incrementando el bienestar y las competencias de los trabajadores.

2.1.7.3 Métrica Medioambiental. En cuanto a la métrica medioambiental, se priorizó la reducción del número de cilindros rechazados por fin del tiempo de uso. Este enfoque apoya la consecución del ODS 12, "Producción y consumo responsables".

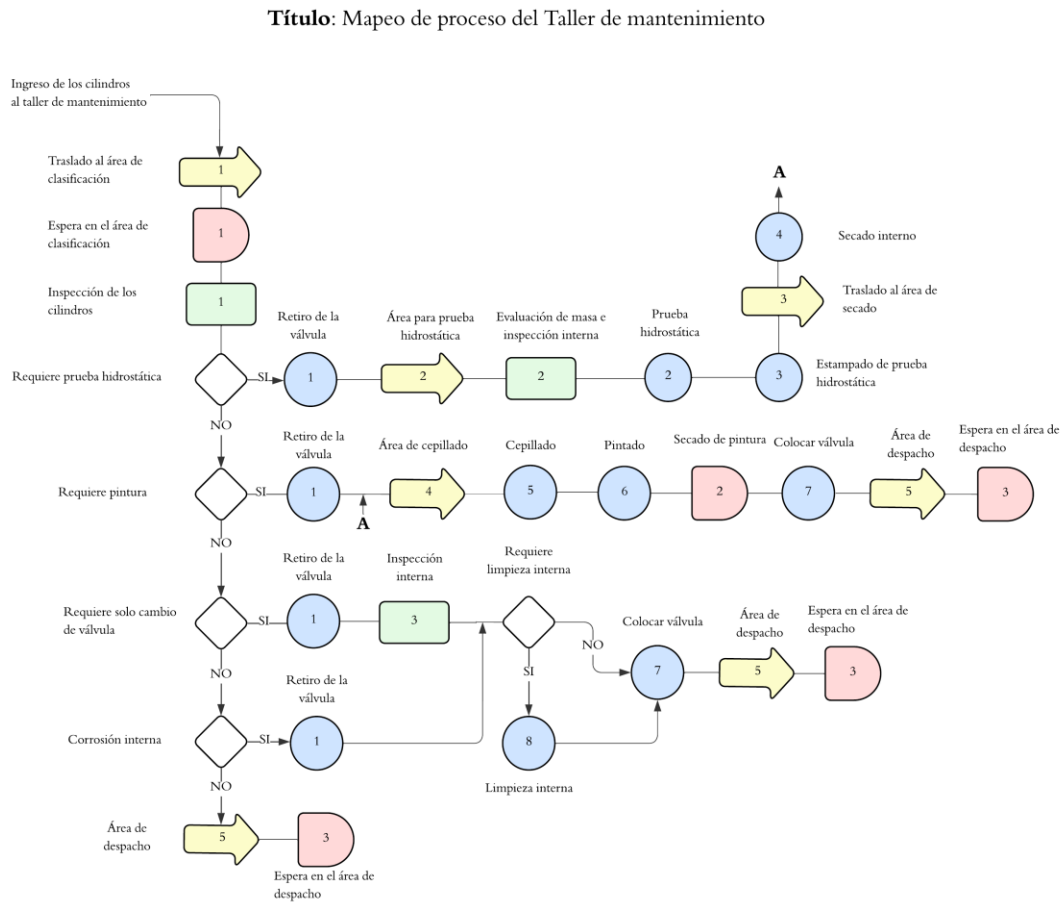
2.2 Medir

En la fase de medir del ciclo DMAIC, se estableció una línea base del desempeño actual del proceso mediante la recopilación y análisis de datos relevantes.

2.2.1 Mapeo de Proceso

Con el propósito de identificar los cuellos de botella, y actividades que no aportaban valor, se validaron todas las actividades ejecutadas durante el proceso de mantenimiento y liberación de un cilindro. Dichas actividades se visualizaron en detalle a través del diagrama OTIDA presentado en la Figura 9.

Figura 9
Mapeo de Proceso del taller de mantenimiento



A través del análisis del diagrama OTIDA detallado en la Tabla 2, se identificaron diversas "fábricas ocultas" que afectan la eficiencia del taller. Específicamente, estas comprenden los reprocesos ejecutados antes de los ensayos de calidad, las paradas no programadas derivadas de la priorización de órdenes críticas y los cuellos de botella generados en la prueba hidrostática ante fallos mecánicos o de componentes.

Tabla 2
Fábricas ocultas y cuellos de botella

Fábricas ocultas	Cuellos de botella
Reelaboración debido a rechazos.	Prueba hidrostática
Paradas no programadas.	Cepillado
	Espera entre actividades

Además, se identificaron las actividades que agregan valor con un 36%, las que no agregan valor con un 42% y las que no agregan valor, pero son necesarias con un 22%.

Representado en la Tabla 3.

Tabla 3

Actividades que agregan valor, no agregan valor y no agregan valor, pero son necesarias

Agregan Valor (VA)	No agregan valor (NVA)	No agregan valor, pero son necesarias (NNVA)
Extracción de válvula		
Prueba hidrostática	Transferencias	
Secado interno	Decisiones	Inspecciones
Cepillado	Secado de pintura	Evaluaciones
Pintura	Área de espera para despacho	Sello de prueba hidrostática
Limpieza interna	Área de clasificación de espera	
Instalación de válvulas		
36%	42%	22%

2.2.2 Plan de Recolección de Datos

Se elaboró un plan de recolección de datos dirigido a las variables previamente definidas en el árbol CTQ y a las métricas de sostenibilidad, como se muestra en la Figura 10.

Figura 10

Plan de Recolección de Datos

¿Qué?				¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Cómo?	¿Porqué?	¿Quién?	Estado
Variable Significado operacional	Unidad de medición	Tipo de dato	Factores de estratificación	Fecha	Punto de origen	Método de recolección	Uso futuro	Persona a cargo	
Tiempo de liberación de los cilindros	Días	Continuo	Por tipo de producto	Desde octubre 2025 hasta noviembre 2025	Taller de mantenimiento	Uso de informe de seguimiento de mantenimiento de cilindros	Conocer el estado de la variable respuesta	Lideres del proyecto	Completado
			Por tipo de mantenimiento						
			Por cliente						
			Por capacidad de cilindro						
Tiempo de recepción de los cilindros	Días	Continuo	Por tipo de producto			Uso de informe de seguimiento de mantenimiento de cilindros	Conocer el estado de la variable indicada		
			Por tipo de mantenimiento						
			Por capacidad de cilindro						
Tiempo de espera de los cilindros en el taller de mantenimiento	Días	Continuo	Por tipo de producto			Registro cronológico y formato de control de operación	Identificar el impacto en los retrasos en el tiempo total del proceso		
			Por capacidad de cilindro						
Tiempo de las actividades realizadas dentro del taller de mantenimiento	Horas	Continuo	Por tipo de producto			Observación directa y recolección de datos	Identificar el impacto en los retrasos en el tiempo total del proceso		
			Por capacidad de cilindro						
			Por tipo de mantenimiento						
Tiempo de espera de los cilindros antes de ser despachados	Días	Continuo	Por tipo de producto	Uso de informe de seguimiento de mantenimiento de cilindros	Identificar el impacto sobre los retrasos en el despacho de los cilindros				
			Por capacidad de cilindro						
Horas extras realizadas por los operadores del taller de mantenimiento	Horas	Continuo		Uso de informe de seguimientos de actividades de los operarios	Evaluar pilar económico del proyecto	Completado			
Cantidad de operadores certificados del taller de mantenimiento	Unidad	Continuo		Uso de informe de seguimiento de actividades de los operarios	Evaluar pilar social del proyecto	Completado			
Cantidad de cilindros desechados del taller de mantenimiento	Unidad	Continuo		Uso de informe de control de seguridad y salud ocupacional de la empresa	Evaluar pilas ambiental del proyecto	Completado			

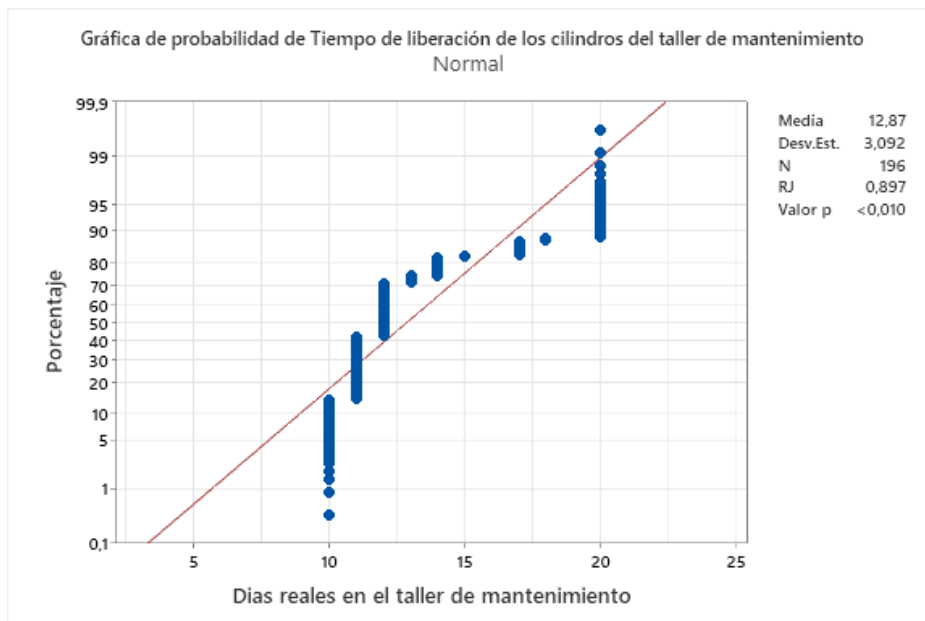
2.2.3 Análisis de Confiabilidad de los Datos

Para establecer el comportamiento inicial del proceso, se procedió a realizar un análisis de normalidad y dispersión sobre la variable de respuesta Y (Tiempo de Liberación del Cilindro).

2.2.3.1 Prueba de Normalidad de los Datos Históricos. Con el objetivo de evaluar el comportamiento estadístico de los tiempos históricos de liberación de los cilindros del taller de mantenimiento, se realizó una prueba de normalidad mediante una gráfica de probabilidad normal, que se evidencia en la Figura 11. Este análisis permitió determinar si los datos históricos seguían una distribución normal y establecer el enfoque estadístico adecuado para su comparación con los datos actuales.

Figura 11

Prueba de Normalidad de los Datos Históricos



En la gráfica de probabilidad normal se observó que los puntos no se alinearon de manera uniforme con la recta de referencia, presentando desviaciones notorias, especialmente en los extremos de la distribución. Asimismo, se evidenció una

dispersión considerable de los datos, lo cual indicó la presencia de asimetría y variabilidad elevada en los tiempos históricos de liberación.

Adicionalmente, el resultado de la prueba estadística arrojó un valor p menor a 0,010, el cual fue inferior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0,05$). En consecuencia, se rechazó la hipótesis nula de normalidad, concluyéndose que los datos históricos no siguieron una distribución normal. Este resultado fue consistente con la elevada desviación estándar observada (3,09 días) y con la amplitud de los tiempos registrados, los cuales reflejaron un proceso con alta variabilidad y falta de estandarización.

Por lo tanto, la no normalidad de los datos históricos evidenció un comportamiento inestable del proceso previo a la implementación de las soluciones, lo cual justificó la necesidad de aplicar herramientas de mejora orientadas a la estandarización y control del flujo. Asimismo, este resultado sustentó la selección de pruebas estadísticas robustas o no paramétricas para la comparación con los datos actuales, garantizando la validez del análisis comparativo posterior.

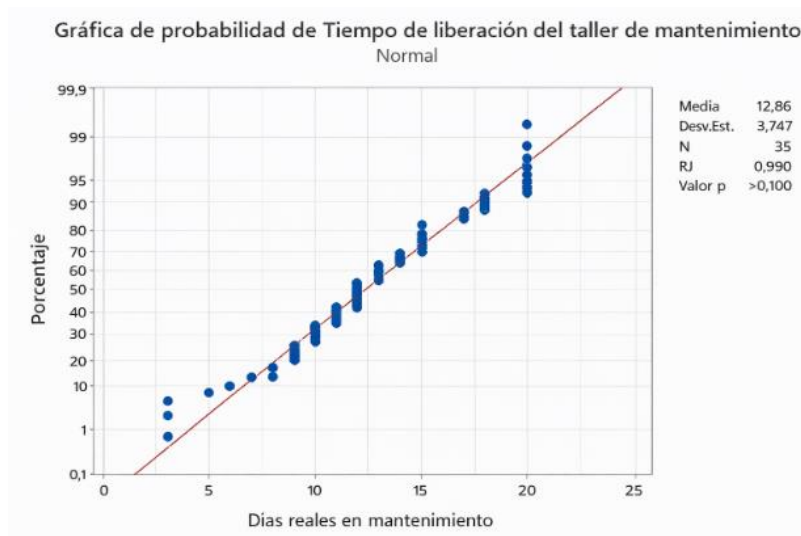
2.2.3.2 Prueba de Normalidad Datos Actuales (Octubre – Noviembre). A partir de la gráfica de probabilidad normal, que se observa en la Figura 12, la mayoría de los puntos se alinearon de manera cercana a la recta de referencia, sin presentar desviaciones sistemáticas ni curvaturas pronunciadas. Este comportamiento indicó visualmente que los datos presentaron una distribución aproximadamente normal, con una dispersión moderada y sin presencia de valores atípicos significativos.

Asimismo, el resultado del contraste estadístico arrojó un valor p mayor a 0,100, el cual superó el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0,05$). En consecuencia, no se rechazó la hipótesis nula de normalidad, concluyéndose que los tiempos actuales de liberación provinieron de una población con distribución normal.

En consecuencia, la validación de la normalidad de los datos actuales permitió sustentar el uso de pruebas estadísticas paramétricas para el análisis comparativo con los datos históricos.

Figura 12

Prueba de Normalidad de los Datos Actuales



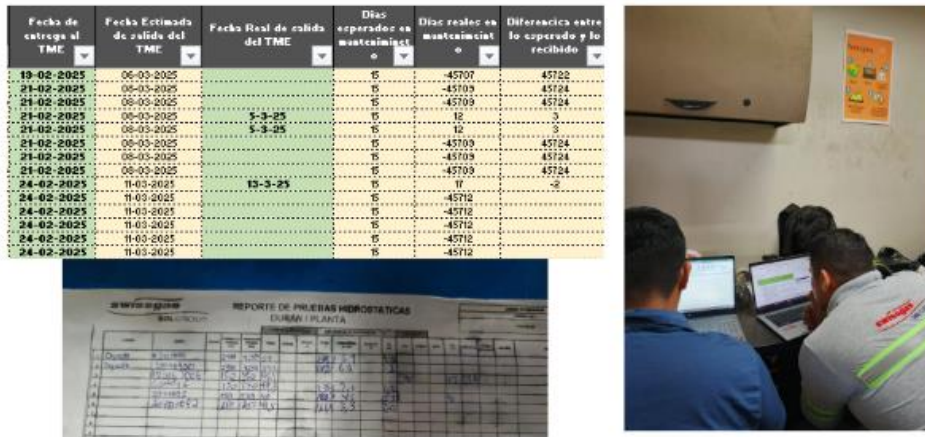
2.2.4 Confiabilidad de los Datos

Para garantizar que los datos recolectados durante el proyecto fueran representativos de la realidad operativa, se compararon con los datos históricos de liberación de cilindros, utilizando el test no paramétrico de **Mann-Whitney** para demostrar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre el comportamiento histórico y el actual del proceso.

En el periodo histórico, los operadores registraban los datos a mano en una hoja de registros y luego los introducían en el sistema al final del día, lo que podía dar lugar a errores, como se ve en la Figura 13.

Figura 13

Confiabilidad de Datos: registro manual de los datos al sistema



El test arrojó un P-Value de 0.826 (Ajustado por empates). Dado que el valor fue mayor a 0.05, **no se rechazó la hipótesis nula.**

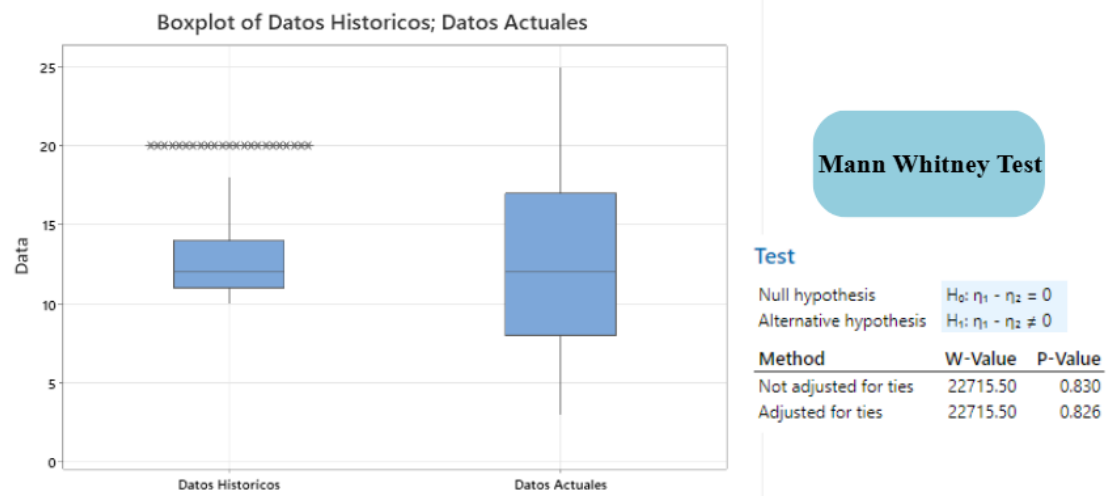
H₀: No existe diferencia de medias entre ambos tipos de reclamos

H₁: Se rechaza la hipótesis nula

Se determinó que, a pesar de las inconsistencias en el método de registro histórico, los valores registrados en el periodo actual eran similares a los históricos mostrado en la Figura 14. Por lo tanto, el conjunto de datos recolectados se consideró fiable y preciso para el análisis de la variabilidad del proceso.

Figura 14

Prueba Mann Whitney y diferencia de medias de los datos históricos vs datos actuales



2.2.4.1 Confiabilidad de Datos Históricos vs Actuales. El tiempo de liberación fue definido como la diferencia, en días calendario, entre la fecha de ingreso del cilindro al taller de mantenimiento y la fecha de liberación registrada en el sistema. Este registro fue realizado por el operador responsable del turno, siguiendo el procedimiento estandarizado implementado durante la fase de mejora.

Con el fin de evaluar la repetibilidad y reproducibilidad del método de cálculo del tiempo de liberación, se seleccionó una muestra de 15 órdenes de mantenimiento correspondientes al periodo octubre–noviembre, como se observa en la Figura 15. A partir de los mismos registros de fecha y hora, dos personas independientes (operador del turno y supervisor de mantenimiento) calcularon de manera separada el tiempo de liberación de cada orden.

Los resultados mostraron que, en 13 de los 15 casos evaluados (86,7%), ambos cálculos coincidieron exactamente en el número de días registrados. En los 2 casos restantes, la diferencia observada fue de 1 día, atribuida al criterio de redondeo aplicado cuando la diferencia entre fechas incluía fracciones de día.

Figura 15

Muestra de Órdenes de Mantenimiento

Orden / Guía	Fecha-hora ingreso	Fecha-hora liberación	Operador (días)	Supervisor (días)	Diferencia	Observación
5812	2025-10-02 07:45	2025-10-13 08:10	11	11	0	Coincidencia
5824	2025-10-03 15:30	2025-10-17 15:10	14	14	0	Coincidencia
5839	2025-10-05 09:05	2025-10-18 08:40	13	13	0	Coincidencia
5851	2025-10-06 16:20	2025-10-20 16:05	14	14	0	Coincidencia
5866	2025-10-08 08:10	2025-10-19 07:55	11	12	1	Redondeo por hora
5878	2025-10-09 14:50	2025-10-22 14:30	13	13	0	Coincidencia
5890	2025-10-11 07:30	2025-10-23 07:10	12	12	0	Coincidencia
5904	2025-10-13 10:40	2025-10-26 10:55	13	13	0	Coincidencia
5919	2025-10-15 15:55	2025-10-28 15:20	13	13	0	Coincidencia
5931	2025-10-17 08:25	2025-10-30 08:05	12	13	1	Redondeo por hora
5946	2025-10-19 13:10	2025-11-01 13:00	13	13	0	Coincidencia
5960	2025-10-21 09:35	2025-11-02 09:10	12	12	0	Coincidencia
5974	2025-10-23 16:45	2025-11-05 16:20	13	13	0	Coincidencia
5988	2025-10-25 07:20	2025-11-07 07:05	13	13	0	Coincidencia
6001	2025-10-27 11:00	2025-11-10 10:40	14	14	0	Coincidencia

Con base en estos resultados, se concluyó que el método de registro y cálculo del tiempo de liberación presentó una adecuada repetibilidad y reproducibilidad para los

finés del proyecto, siendo el error asociado al registro humano mínimo y no significativo en relación con la magnitud de la variable analizada.

2.2.5 Análisis de Estabilidad y Capacidad

Con el fin de evaluar la estabilidad del desempeño del proceso en términos de cumplimiento del tiempo objetivo de liberación, los datos de días reales en mantenimiento fueron transformados en una variable de atributo. Para ello, se clasificaron las órdenes como conformes cuando el tiempo de mantenimiento fue menor o igual a 15 días, y como no conformes cuando superó dicho valor. Posteriormente, los datos fueron agrupados por periodo semanal (ver Tabla 4), calculándose para cada subgrupo la proporción de cilindros no conformes. Estas proporciones se utilizaron para construir una carta p, la cual permitió analizar el comportamiento del porcentaje de incumplimiento a lo largo del tiempo e identificar posibles variaciones especiales en el desempeño del proceso.

Tabla 4

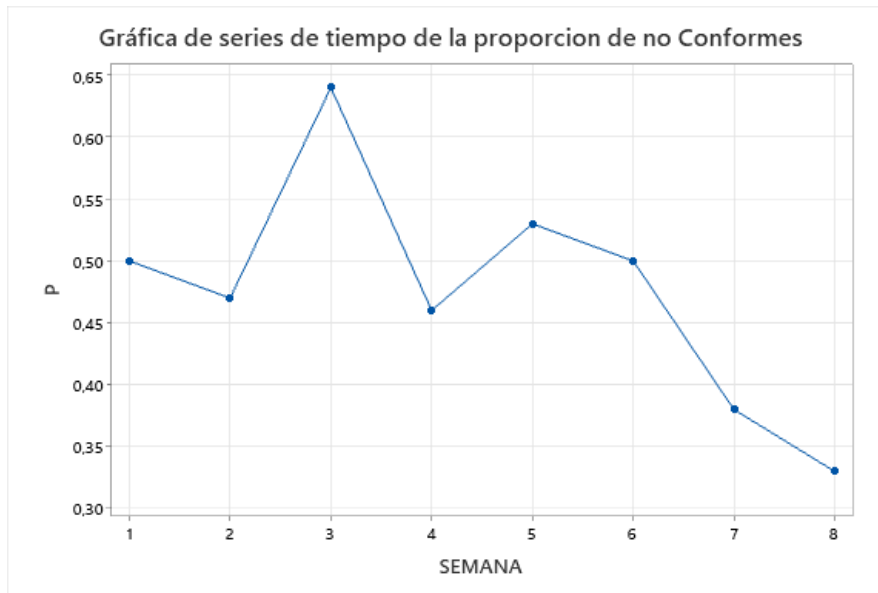
Tabla de No Conformidad

Semana	Guías de cilindros (n)	>15 días (NC)	p
1	12	6	0,50
2	15	7	0,47
3	14	9	0,64
4	13	6	0,46
5	15	8	0,53
6	14	7	0,50
7	13	5	0,38
8	12	4	0,33

Como se evidencia en la Figura 16, estas proporciones se utilizaron para construir una carta p, la cual permitió analizar el comportamiento del porcentaje de incumplimiento a lo largo del tiempo e identificar posibles variaciones especiales en el desempeño del proceso.

Figura 16

Serie de Tiempo de la Proporción de No Conformes



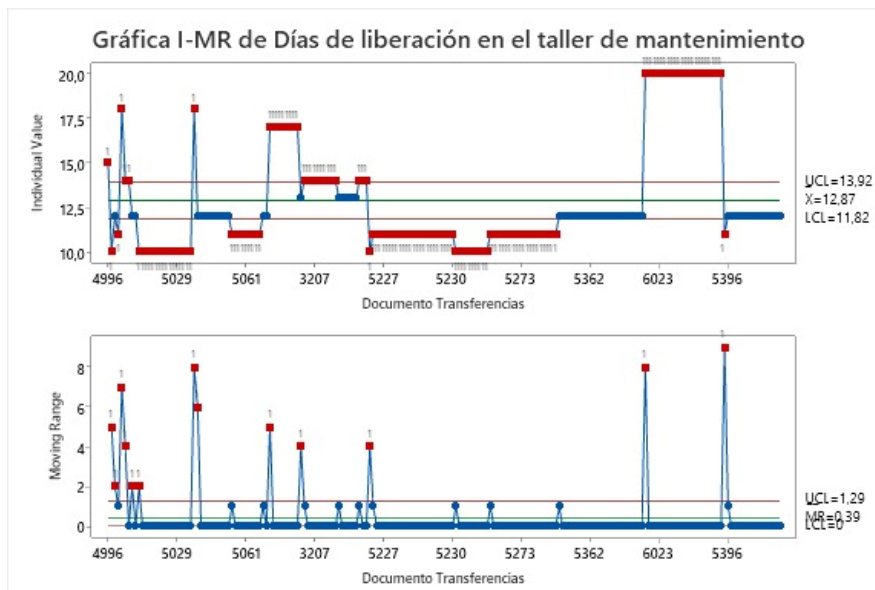
Ahora también se analizara la gráfica IMR del proceso, en la Figura 17, se observó la presencia de múltiples puntos fuera de los límites de control, así como agrupaciones de observaciones consecutivas por encima y por debajo de la línea central. Este comportamiento evidenció la existencia de causas especiales de variación, indicando que el proceso no se mantuvo bajo control estadístico durante todo el periodo evaluado. Asimismo, se identificaron cambios abruptos en el nivel del proceso, lo cual sugirió variaciones asociadas a condiciones operativas no estandarizadas, tales como diferencias en la carga de trabajo, priorización de órdenes o disponibilidad de recursos.

Por su parte, la gráfica de rango móvil (MR) presentó varios picos que superaron el límite superior de control, con un valor promedio de rango móvil de 0,39 y un límite

superior de 1,29. Estos picos reflejaron incrementos repentinos en la variabilidad entre observaciones consecutivas, confirmando la inestabilidad observada en la gráfica de valores individuales y reforzando la evidencia de variación no aleatoria en el proceso.

Figura 17

Carta de Control I-MR del Proceso



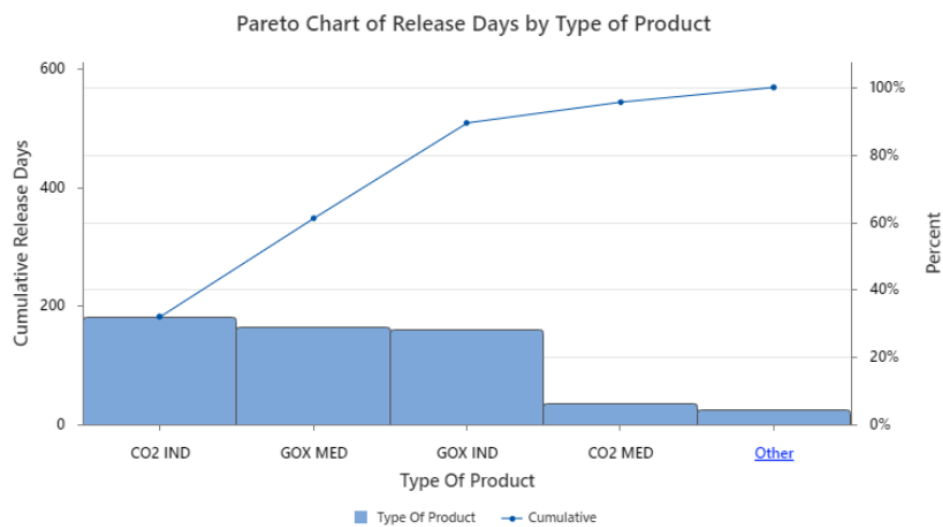
La gráfica de series de tiempo de la proporción de no conformes mostró una tendencia descendente a lo largo de las semanas analizadas, lo cual evidenció una mejora progresiva en el desempeño del proceso. Sin embargo, este comportamiento también indicó que el proceso se encontraba en una fase de transición, sin haber alcanzado aún un estado de estabilidad estadística. En consecuencia, si bien se observaron señales positivas de mejora, no fue posible concluir que el proceso se mantuviera bajo control, lo que justificó la necesidad de continuar con la implementación y consolidación de las acciones de mejora.

2.2.6 Estratificación

Con el objetivo de tener una visión más clara del problema y tener un enfoque más preciso hacia la solución, se establecieron estratificaciones a partir de la variable que más afecta en el tiempo de liberación de los cilindros, que es el tiempo de espera antes del mantenimiento.

Figura 18

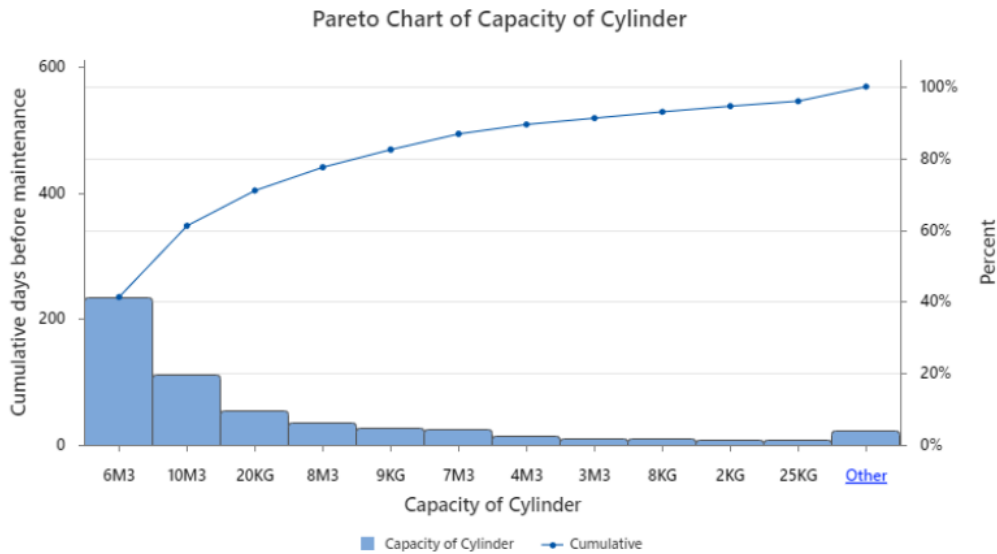
Pareto por tipo de producto de la variable: Tiempo de espera antes de mantenimiento



En la Figura 18, el Pareto muestra que CO₂ IND, GOX MED y GOX IND tienen contribuciones muy similares al total de días de liberación, sin que ningún tipo de producto destaque claramente sobre los demás. Centrarse en esta diferenciación no aportaría una perspectiva significativa para el análisis.

Figura 19

Pareto por capacidad de cilindro de la variable: Tiempo de espera antes de mantenimiento



El Pareto de la Figura 19 muestra que los retrasos previos al mantenimiento se concentran en las capacidades de gran volumen, impactando significativamente en el tiempo total de liberación, los de 6 m³ y 10 m³ representan la mayor parte del tiempo total de espera antes del mantenimiento.

2.2.7 Problema Enfocado

El problema enfocado quedo definido de la siguiente manera: “El plazo de entrega de los cilindros en el taller de mantenimiento supera el objetivo de 10 días fijado por la empresa. Desde enero de 2025, el plazo medio de entrega ha sido de 12,86 días. Los principales factores identificados son el flujo de cilindros de 6 y 10 metros cúbicos, que representan el mayor volumen de casos y tienen un plazo de entrega medio de 14,42 y 14,13 días, respectivamente, lo que concentra el impacto del incumplimiento del objetivo y satura la zona.”

2.3 Análisis

2.3.1 Lluvia de Ideas

Con el fin de llevar a cabo la lluvia de ideas, se realizaron entrevistas a cada actor involucrado con el objetivo conocer las posibles causas que influye en el problema enfocado. Los hallazgos se documentaron en la Figura 20, logrando recolectar un total de 29 causas potenciales.

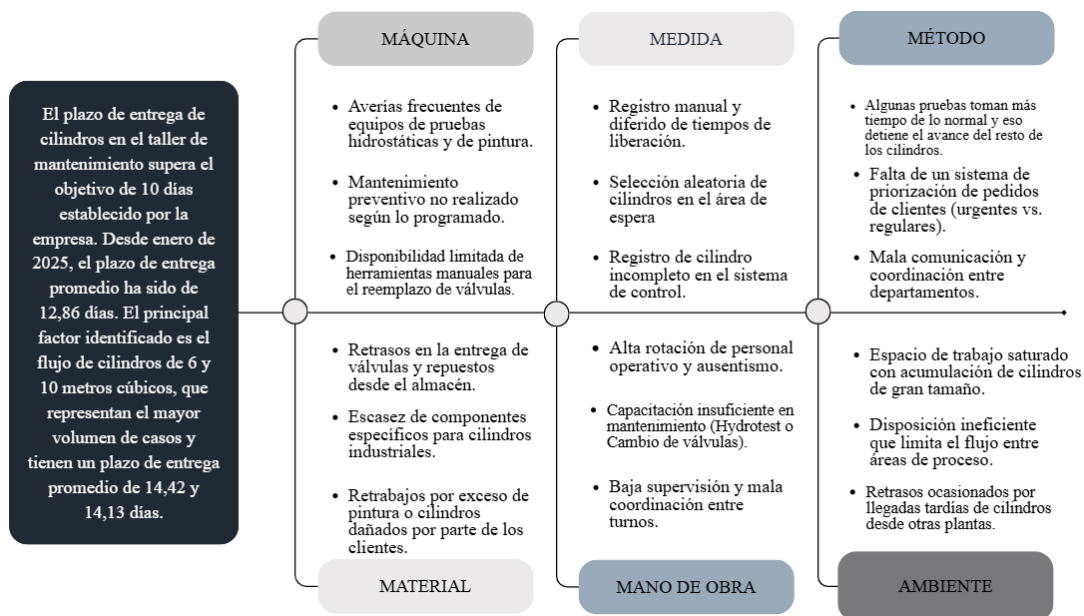
Figura 20

Lluvia de Ideas de las Causas Potenciales

Alta rotación de personal operativo	Selección aleatoria de cilindros en el área de espera	Área física saturada de grandes cilindros. Hay congestión y reasignaciones constantes.	Fallas frecuentes en equipos de hidrotest y pintura.	Falta de disponibilidad de juntas o sellos específicos para ciertos modelos.	Control horario manual con errores o falla en la actualización del sistema.
Ausentismo y falta de reposición inmediata de operadores.	No existe un sistema de programación de pedidos por prioridad de clientes.	Falta de señalización visual y distribución ineficiente para separar procesos.	Mantenimiento preventivo no realizado según lo planeado.	Variabilidad en el estado de los cilindros recibidos de clientes industriales (mayor deterioro).	Información incompleta del cilindro en el software (guías o números de serie faltantes).
Falta de capacitación técnica en procedimientos combinados	Cambios constantes en las prioridades debido a pedidos urgentes del área de producción.	Escasez de espacio en zonas de espera y pintura.	Escasez de herramientas manuales disponibles.	Retrasos en la entrega de válvulas o repuestos desde el almacén.	No existe una trazabilidad clara del tiempo en cada etapa del proceso.
Pausas no programadas o prolongadas.	Algunas pruebas toman más tiempo de lo normal y eso detiene el avance del resto de los cilindros.	Mala comunicación entre departamentos (mantenimiento, despacho, operaciones).	Equipos compartidos entre líneas (hidrotest, pintura y válvulas) lo que ocasiona demoras.	Los cilindros llegan con exceso de pintura o residuos, lo que requiere ser retrabajados.	Los informes semanales no reflejan los tiempos reales de espera y procesamiento.
Falta de liderazgo o supervisión directa por parte del responsable.	Falta de priorización clara en el flujo de trabajo diario, algunos cilindros quedan atrás.	Factores externos: llegada tardía de cilindros de otras plantas o clientes.	Baja capacidad de carga o presión en los tanques de prueba.		

2.3.2 Diagrama ISHIKAWA

Posteriormente a la lluvia de ideas, se procedió a clasificar las causas dentro de 6 factores, descritos en la Figura 21. Con esto, se logró visualizar a mayor detalle la clasificación de las causas en el diagrama de Ishikawa que se mostró a continuación

Figura 21*Diagrama de ISHIWAKA de las Causas Potenciales***2.3.3 Ponderación de Causas**

Posteriormente, los actores clave evaluaron la relevancia de cada causa potencial según los criterios de ponderación detallados en la Tabla 5, tomando en cuenta cuán significativo resultaba para ellos el impacto de dicha causa potencial sobre el problema enfocado.

Tabla 5*Ponderaciones de las Causas Potenciales*

Significado	Valoración
Alta significancia	9
Significante	3
No significativa	1

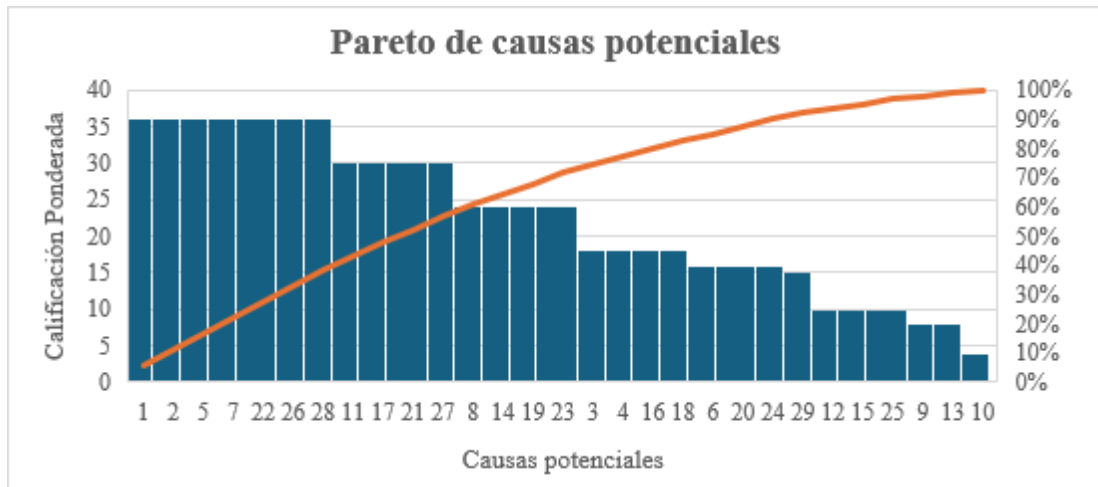
Con el objetivo de cuantificar e identificar las causas más relevantes, el proceso de ponderación fue documentado y se evidenció en la Figura 22.

Figura 22

Ponderación de las Causas Potenciales con los Diferentes Actores

N°	Causas	Jefe de operaciones de producción	Jefa de distribución y bodega	Operadores de mantenimiento	Distribuidores de cilindros	Total
Máquina						
1	Averías frecuentes de equipos de mantenimiento	9	9	9	9	36
2	Insuficientes equipos para reparación	9	9	9	9	36
3	Disponibilidad limitada de herramientas manuales	3	9	3	3	18
Medición						
4	Registro manual deficiente de los tiempos de liberación	3	9	3	3	18
5	Deficiencias operacionales en los equipos y recursos clave para la prueba hidrostática	9	9	9	9	36
6	Registro incompleto de la información del cilindro en el sistema de control	3	9	3	1	16
7	Selección aleatoria de cilindros en el área de espera antes de mantenimiento	9	9	9	9	36
8	Nula trazabilidad de las etapas de mantenimiento	3	9	3	9	24
Material						
9	Retrasos en la entrega de válvulas y repuestos	3	3	1	1	8
10	Escasez de componentes para la reparación de los cilindros	1	1	1	1	4
11	Retrabajo debido a exceso de pintura o cilindros dañados	9	3	9	9	30
12	Falta de equipo de seguridad para manipular herramientas	3	3	1	3	10
13	Materiales y herramientas para el mantenimiento dañados	3	1	1	3	8
Mano de obra						
14	Alta rotación de personal operativo	3	3	9	9	24
15	Formación insuficiente para el personal de mantenimiento	3	3	3	1	10
16	Supervisión y coordinación deficientes entre turnos	3	9	3	3	18
17	Alto ausentismo del personal	9	3	9	9	30
18	Gestión inadecuada del tiempo en los procesos de mantenimiento	9	3	3	3	18
19	Número insuficiente de operadores	3	3	9	9	24
Método						
20	Flujo de información lento (órdenes de trabajo, autorizaciones, o informes)	1	9	3	3	16
21	Ausencia de un sistema de planificación de mantenimiento	9	3	9	9	30
22	Comunicación y coordinación deficiente entre los departamentos involucrados	9	9	9	9	36
23	Asignación desorganizada de tareas múltiples en el taller	3	9	9	3	24
24	Alta complejidad en las reparaciones en el taller	9	3	1	3	16
25	Priorización inadecuada en mantenimientos específicos	3	3	1	3	10
Entorno						
26	Registro tardío de las salidas de cilindros, lo que provoca una falta de coordinación entre el taller de mantenimiento y distribución	9	9	9	9	36
27	Diseño deficiente de la distribución del taller que limita el flujo entre áreas del proceso	9	9	3	9	30
28	Diseño inapropiado del puesto de trabajo	3	9	1	3	16

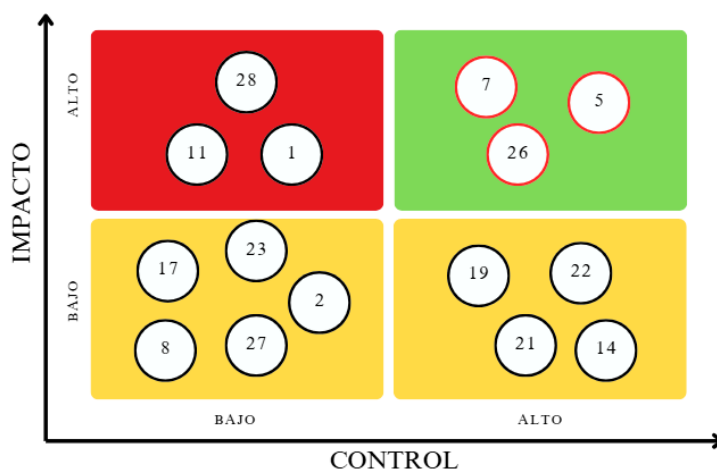
A primera vista, se observó a las causas con mayor ponderación, y por ende mayor trascendencia para todos los actores involucrados. No obstante, se procedió a realizar un análisis de Pareto, Figura 23, para identificar las más importantes.

Figura 23*Pareto de las causas potenciales*

Nota. Se consideraron las 15 causas que representan el 78 % del peso total.

2.3.4 Matriz Impacto-Control

Las tres causas principales (n.º 5, n.º 7 y n.º 26) se encuentran en el cuadrante (alto impacto/alto control), evidenciadas en la Figura 24. Las acciones aquí son de máxima prioridad, ya que ofrecen el mayor beneficio y pueden implementarse con éxito.

Figura 24*Matriz Impacto-Control de las causas potenciales*

2.3.5 Plan de Verificación de Causas

A continuación, se detalla el plan de verificación de causas seleccionadas como se muestra en la Figura 25.

Figura 25

Plan de Verificación de las Causas Potenciales Seleccionadas

#	Causas potenciales	Teoría sobre el impacto	¿Cómo verificarlo?	Estado
26	Registro tardío de las salidas de cilindros, causando una falta de coordinación entre el mantenimiento y la distribución.	Esta falta de coordinación y el retraso en el registro formal crean un desfase en los tiempos de liberación de cilindros. Este tiempo de inactividad perdido de los cilindros listos se suma directamente al tiempo promedio total de liberación, contribuyendo a los largos tiempos registrados en el sistema de la empresa.	GEMBA y Análisis Estadístico	Significante
7	Los lotes de cilindros entran en mantenimiento sin un plan de trabajo y se seleccionan según la disponibilidad operativa.	La liberación de cilindros pertenecientes al mismo pedido guía en días diferentes provoca una falta de coordinación en el flujo, aumenta el trabajo en curso, alarga los tiempos de liberación de lotes y provoca retrasos en el área de expedición. Esto se traduce en tiempos de espera más largos y una menor fiabilidad del proceso de mantenimiento.	GEMBA y Análisis Estadístico	Significante
5	Deficiencias operacionales en los equipos y recursos clave para la prueba hidrostática.	La prueba hidrostática actúa como un cuello de botella, los cilindros posteriores quedan esperando este paso crítico, creando colas en etapas anteriores o posteriores. Esto aumenta el tiempo total pasado en el flujo, afectando directamente las fechas de entrega.	GEMBA and Statistical Analysis	Significante

2.3.5.1 Verificación de la Causa Potencial (26): “Registro tardío de las salidas de cilindros, lo que provoca una falta de coordinación entre el taller de mantenimiento y distribución.”. Mediante una prueba t ($p = 0,002$), Figura 26, se validó que el registro tardío de salidas afectó la coordinación entre mantenimiento y distribución. Como se muestra en los datos presentados en el Apéndice A, los lotes con demoras administrativas presentaron tiempos de liberación significativamente mayores; esta falta de integridad en los datos provocó que los pedidos se enviaran incompletos, estancando parte del inventario en el taller.

Figura 26

Prueba Estadística para la Verificación de la Causa Potencial 26

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Retrasos en los registros	16	16.13	2.96	0.74
Sin retrasos en los registros	28	12.36	4.54	0.86

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
3.32	41	0.002



2.3.5.2 Verificación de la Causa Potencial (7): “Selección aleatoria de cilindros en el área de espera antes de mantenimiento”. Mediante el análisis de esta causa raíz, se confirmó que la falta de un plan de trabajo derivó en una selección aleatoria de cilindros por parte de los operadores. Bajo esta premisa, y como se muestra en los datos en el Apéndice A, esta arbitrariedad generó liberaciones parciales de las guías y acumulaciones críticas en las áreas de espera y despacho. Dicha desorganización prolongó el tiempo total de liberación, al impedir que los lotes fueran procesados y despachados de manera íntegra.

2.3.5.3 Verificación de la Causa Potencial (5): “Deficiencias operacionales en los equipos y recursos clave para la prueba hidrostática.”. Mediante una prueba t para muestras independientes que se muestra en la Figura 27, se confirmó que las fallas en la máquina de prueba hidrostática actúan como un cuello de botella crítico. Los resultados ($p = 0,000$) revelaron una diferencia significativa que incrementa el tiempo de liberación de cilindros en más de 5 días promedio respecto a la operación normal, validando así el impacto directo de estas deficiencias operacionales en el retraso total del proceso, en el Apéndice A, se muestra la normalidad de los datos recopilados.

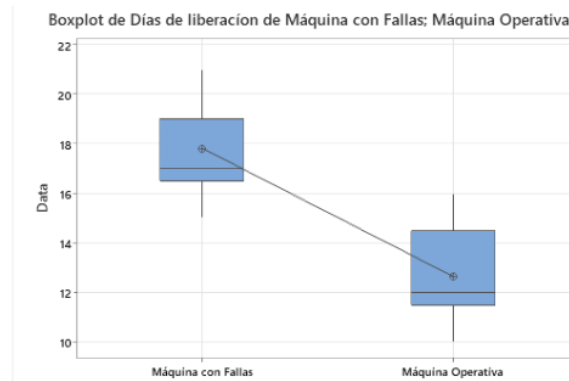
Figura 27*Prueba Estadística para la Verificación de la Causa Potencial 5***Descriptive Statistics**

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Maquina con Fallas	17	17,82	1,70	0,41
Maquina Operativa	17	12,65	1,80	0,44

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
8,61	31	0,000

**2.3.6 Análisis de Causa Raíz**

Una vez identificadas las causas potenciales, se procedió a aplicar la herramienta de los 5 ¿Por qué? para hallar las causas raíz de los motivos significativos asociados al problema. Este análisis se detalla en los Figuras 28, 29 y 30, donde se visualiza la secuencia lógica que permitió llegar al origen de las fallas.

Figura 28*Obtención de Causa Raíz 1 usando herramienta 5 porqués*

Causa potencial: Registro tardío de las salidas de cilindros, lo que provoca una falta de coordinación entre el mantenimiento y la distribución.			
1	2	3	
¿Por qué hay un registro tardío de cilindros saliendo del taller de mantenimiento?	¿Por qué no se revisan los cilindros a tiempo?	¿Por qué los operadores solo actualizan el sistema en ciertos días?	Causa raíz: La falta de sincronía en el registro de los cilindros provoca retrasos, lo que afecta a la eficiencia operativa y a la puntualidad en las entregas.
Porque la producción real de los cilindros no se registra en el sistema a tiempo.	¿Por qué los operadores actualizan el sistema solo en ciertos días, y no tan pronto como los cilindros salen del taller?	Porque no hay un procedimiento claro u obligatorio para registrar las salidas en tiempo real.	

Figura 29

Obtención de Causa Raíz 2 usando herramienta 5 porqués

Causa potencial: Los cilindros entran al taller sin un plan de trabajo establecido y se seleccionan según la disponibilidad operativa.			
1	2	3	
¿Por qué no hay un plan de trabajo establecido?	¿Por qué no hay una clara priorización entre las órdenes de guía?	¿Por qué no hay un método para definir el orden en el que se atienden los cilindros?	Causa raíz: Los cilindros (según las instrucciones de la guía) entran al taller sin un plan de trabajo establecido.
Porque los operadores seleccionan cilindros basándose en la conveniencia o disponibilidad en ese momento.	Porque no hay un criterio estandarizado para clasificar las guías que llegan al taller.	Porque el taller no tiene un procedimiento formal de secuenciación para organizar el flujo de cilindros.	

Figura 30

Obtención de Causa Raíz 3 usando herramienta 5 porqués

Potential cause: Deficiencias operacionales en los equipos y recursos clave para la prueba hidrostática.			
1	2	3	
¿Por qué hay deficiencias operacionales en los equipos y recursos clave?	¿Por qué solo hay una máquina operativa y pocos acoples disponibles en buen estado?	¿Por qué no se ha planificado adecuadamente la adquisición de equipos y recursos?	Root cause: La ausencia de una planificación estratégica efectiva en la gestión de recursos y equipos operativos para realizar la prueba hidrostática.
Porque solo hay una máquina operativa para las pruebas hidrostáticas y no se cuentan con suficientes acoples para realizar varias pruebas a la vez si se tiene una sola maquina.	Porque no se ha optimizado la disponibilidad de equipos y recursos necesarios para asegurar la capacidad de realizar varias pruebas a la vez.	Porque no existe una estrategia de planificación de recursos que contemple la necesidad de múltiples máquinas operativas y acoples para mejorar la eficiencia del proceso de prueba.	

2.4 Mejora

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.

2.4.1 Soluciones Potenciales

Las soluciones potenciales fueron discutidas con los clientes internos y los docentes de la carrera. Estas soluciones se presentan en la Figura 31.

Figura 31

Soluciones potenciales propuestas

CAUSAS RAÍZ	SOLUCIONES POTENCIALES	ASIGNACIÓN
La falta de registro de los cilindros de manera oportuna causa retrasos, afectando la eficiencia operativa y la entrega a tiempo.	Escaneo móvil obligatorio (QR/código de barras) para el control de salida antes de la liberación física del lote.	S1
	Estandarización del proceso de registro y control del estado de liberación de la guía del cilindro.	S2
Los cilindros (según las instrucciones de la guía) entran al taller sin un plan de trabajo establecido.	Implementar un sistema FIFO general y un tablero Kanban para gestionar el flujo de cilindros en el taller.	S3
	Implementación de un sistema de visualización operativa KANBAN mediante un panel de control digital para la gestión en tiempo real del flujo de cilindros.	S4
	Establecer un programa de mantenimiento para los operarios del taller con el fin de estandarizar el proceso.	S5
La falta de una planificación estratégica efectiva en la gestión de los recursos y el equipo operativo necesarios para realizar la prueba hidrostática.	Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para los componentes clave de las pruebas hidrostáticas y evaluación de una segunda máquina para la optimización de las pruebas hidrostáticas.	S6

2.4.2 Costos Estimados de las Propuestas de Soluciones

El despliegue de las soluciones se ejecutó entre diciembre de 2025 y enero de 2026, tal como se detalla en el cronograma de la Figura 32. Durante este periodo, se optimizaron los recursos mediante capacitaciones breves y la asignación estratégica de personal, basando el cálculo financiero de cada intervención en la Ecuación 3.1.

$$\text{Costo Total} = (\text{Tiempo de entrenamiento} \times \text{Costo de entrenamiento}) + \text{Costo de materiales y equipos} \quad (3.1)$$

Como resultado, se consolidó un sistema de control operativo de bajo costo que permitió estandarizar el flujo de trabajo sin comprometer la eficiencia del taller.

Figura 32*Costo de Implementación de cada solución planteada*

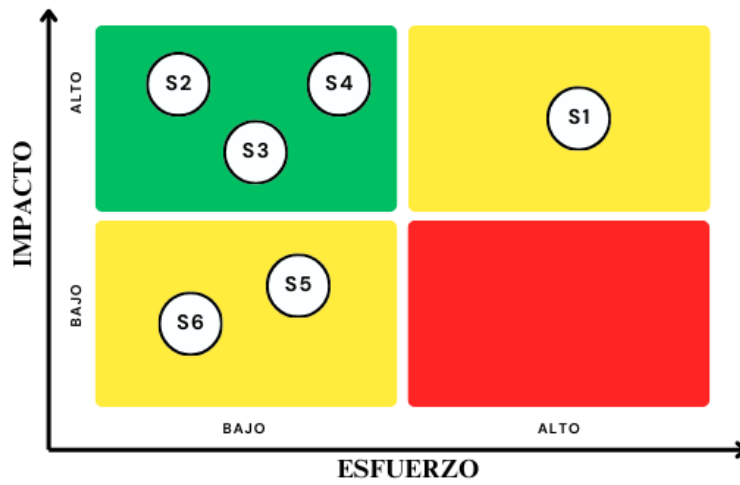
Nº	Soluciones	Tiempo de implementación	Operador(es)	Tiempo de entrenamiento	Costo de entrenamiento	Costo de materiales y equipos	Costo total
S1	Escaneo móvil obligatorio (QR/código de barras) para el control de salida antes de la liberación física del lote.	Diciembre 22, 2025 - Enero 19, 2026	1	2 horas	\$3,75	\$30	\$37.5
S2	Estandarización del proceso de registro y control del estado de liberación de la guía del cilindro	Diciembre 22, 2025 - Enero 19, 2026	1	2 horas	\$3,75	-	\$7.5
S3	Implementar un sistema general FIFO y Kanban para gestionar el flujo de cilindros en el taller.	Diciembre 22, 2025 - Enero 19, 2026	2	2 horas	\$3,75	\$5	\$20
S4	Implementación de un sistema de visualización operativa utilizando un tablero digital para la gestión del flujo de cilindros en tiempo real.	Diciembre 22, 2025 - Enero 19, 2026	1	1 hora	\$3,75	\$75	\$75
S5	Establecer una planificación de actividades para los operadores en el taller.	Diciembre 22, 2025 - Enero 19, 2026	1	1 hora	\$3,75	-	\$3,75
S6	Implementación de un plan de Mantenimiento Preventivo para los componentes clave de la prueba hidrostática y Evaluación de Segunda Máquina para Optimización de Pruebas Hidrostáticas	Diciembre 22, 2025 - Enero 19, 2026	1	1 hora	\$3,75	-	\$3,75

2.4.3 Matriz de Priorización Impacto-Esfuerzo

Para priorizar las soluciones, se empleó la matriz de esfuerzo-impacto con el fin de garantizar la viabilidad del proyecto; bajo esta premisa, y como se evidencia en la Figura 33, se determinó que las estrategias S2, S3 y S4 resultaron ser las más efectivas al combinar un alto impacto operativo con un bajo nivel de esfuerzo. Por el contrario, la solución S1 se identificó como un proyecto de mayor complejidad, mientras que las propuestas S5 y S6 presentaron beneficios más limitados. Finalmente, este análisis permitió seleccionar las acciones que optimizaron los recursos y aseguraron mejoras inmediatas en el taller.

Figura 33

Matriz Impacto-Esfuerzo de las soluciones propuestas



2.4.4 Plan de Implementación

Una vez identificados los factores críticos y los costos asociados, se procedió con la elaboración de un plan de ejecución detallado para cada solución.

Consecuentemente, la Figura 34 presentó la justificación de cada propuesta, su metodología de puesta en marcha, los responsables asignados, el cronograma y el presupuesto requerido.

Figura 34*Plan de Implementación de las soluciones establecidas*

Causas raíces	Soluciones	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Por qué?	¿Cómo?	Costo total
El hecho de no registrar los cilindros a tiempo provoca retrasos, lo que afecta a la eficiencia operativa y a la puntualidad en las entregas.	S2: Estandarización del proceso de registro y control del estado de liberación de la guía del cilindro.	Diciembre 22, 2025 - Enero 19, 2026	Taller de mantenimiento	Líderes del proyecto	Para detectar retrasos, pedidos incompletos y desviaciones en el flujo de trabajo diario antes de que se acumulen y aumenten el tiempo de liberación de cilindros.	Asignar a un operador designado por turno la tarea de revisar el registro diario de mantenimiento utilizando una lista de verificación estandarizada,	\$7.5
Los cilindros (según las instrucciones de la guía) entran al taller sin un plan de trabajo establecido.	S3: Implementar un tablero FIFO y tarjeta kanban para gestionar el flujo de cilindros en el taller.	Diciembre 22, 2025 - Enero 19, 2026	Taller de mantenimiento	Líderes del proyecto	Para mantener un flujo ordenado de cilindros, prevenir la selección aleatoria, reducir los pedidos incompletos y minimizar el tiempo de espera innecesario en el taller.	Al delimitar físicamente las áreas FIFO en la zona de espera, aplicando identificación visual mediante una tarjeta Kanban.	\$20
	S3: Implementación de un sistema de visualización operativa KANBAN mediante un panel de control digital para la gestión en tiempo real del flujo de cilindros. (BAJA RESOLUCIÓN)	Diciembre 22, 2025 - Enero 19, 2026	Taller de mantenimiento	Líderes del proyecto	Para asegurar que el operador seleccione los cilindros de manera continua y ordenada, utilizando la guía visual en el taller y el tablero de información para minimizar errores y mejorar la eficiencia.	En baja resolución, se utilizarán tarjetas para los lotes de cilindros, siguiendo el flujo FIFO establecido. Esto asegura una selección continua por parte del operador utilizando una guía visual en el taller, complementada por el tablero de información.	\$75

2.4.5 Implementación de las Soluciones

Tras la selección de las soluciones viables y su respectivo análisis técnico-financiero, se procedió con una ejecución estratégica orientada a alcanzar los resultados previstos en el proyecto. De este modo, el enfoque se centró en asegurar que cada intervención cumpliera con los objetivos establecidos, detallándose a continuación el proceso de puesta en marcha para cada una de ellas.

2.4.5.1 Estandarización del proceso de registro y control del estado de liberación de la guía del cilindro. Con el fin de asegurar la confiabilidad del estado de liberación de las guías de los cilindros y disminuir la generación de órdenes incompletas por falta de información actualizada, se implementó la solución S2 basada en la estandarización del proceso de registro y verificación. Esta solución se ejecutó de forma estructurada, considerando actividades de diseño del método, socialización, asignación de responsables y control continuo del cumplimiento.

Durante el diagnóstico inicial, se identificaron inconsistencias críticas en el registro de datos, específicamente dentro de la columna “Días reales en mantenimiento”, nuestra variable crítica. Como se observa en la Figura 35, se registraron valores negativos atípicos derivados de la falta de entrada de datos en la columna “Fecha Real de salida del TME”. Esta deficiencia se debió a la ausencia de una actualización sistemática del sistema y a la falta de un responsable claramente asignado por turno para el ingreso de la información.

Esta carencia de datos íntegros no solo afectó la trazabilidad del proceso y provocando órdenes incompletas. Por ello, se definió como objetivo principal garantizar un registro único, actualizado y verificable del estado de liberación, el cual fuese accesible para todo el personal involucrado.

Figura 35

Inconsistencia en el registro de las guías de cilindros

Fecha de entrega al TME	Fecha Estimada de salida del TME	Fecha Real de salida del TME	Días esperados en mantenimiento	Días reales en mantenimiento	Diferencia entre lo esperado y lo recibido
11-02-2025	26-02-2025	23-2-25	15	12	3
11-02-2025	26-02-2025	23-2-25	15	12	3
11-02-2025	26-02-2025	23-2-25	15	12	3
11-02-2025	26-02-2025	23-2-25	15	12	3
11-02-2025	26-02-2025	23-2-25	15	12	3
11-02-2025	26-02-2025		15	-45699	45714
11-02-2025	26-02-2025		15	-45699	45714
11-02-2025	26-02-2025		15	-45699	45714
11-02-2025	26-02-2025		15	-45699	45714
11-02-2025	26-02-2025		15	-45699	45714
11-02-2025	26-02-2025		15	-45699	45714
11-02-2025	26-02-2025		15	-45699	45714
11-02-2025	26-02-2025		15	-45699	45714
11-02-2025	26-02-2025		15	-45699	45714
11-02-2025	26-02-2025		15	-45699	45714
11-02-2025	26-02-2025		15	-45699	45714
11-02-2025	26-02-2025	26-2-25	15	15	0
11-02-2025	26-02-2025	26-2-25	15	15	0
13-02-2025	28-02-2025	21-2-25	15	8	7
13-02-2025	28-02-2025	21-2-25	15	8	7
13-02-2025	28-02-2025	18-2-25	15	5	10
13-02-2025	28-02-2025		15	-45701	45716
13-02-2025	28-02-2025		15	-45701	45716
13-02-2025	28-02-2025		15	-45701	45716

Para evitar que el control dependa únicamente de la disponibilidad de un operador, se designó un responsable por turno, encargado de verificar y registrar el estado de liberación, tal como se detalla en la Tabla 6. Este rol se formalizó con un enfoque práctico: el responsable del turno ejecuta la verificación y deja evidencia del cumplimiento, mientras que la supervisión se orienta a confirmar que el estándar se

mantenga en el tiempo. Con esto, el control dejó de ser informal y pasó a ser parte del flujo diario del taller.

Tabla 6


Planificación de Registro por Operador

Planificación de registro por operador		
Día	Operador responsable para el registro diario	Verificación del registro
Lunes	Operador 1	Verificado
Martes	Operador 2	Verificado
Miércoles	Operador 3	Verificado
Jueves	Operador 1	Verificado
Viernes	Operador 2	Verificado
Sábado	Operador 3	Verificado

Una vez socializado el método, se ejecutó la implementación en el área operativa. El responsable asignado por turno comenzó a realizar la verificación y actualización en el momento definido dentro del flujo del proceso, evitando que la información se acumule para “actualizar después”. La lógica de la solución fue que el registro se convierta en una actividad integrada a la operación, no en una tarea adicional al final del turno, como se evidencia en la Figura 36.

Figura 36

Actualización del Estatus de los Cilindros



Estación	Cliente	Tipo de Producto	M3/KG	Cantidad que Ingresó al TME	Documento Transferencias	Tipo de Mantenimiento	Días reales en mantenimiento	Estatus
DUR	JOMBERO GYI	GOX MED	0,46M3	1	138837	AMBIO DE VA	10	OK (EJECUTADO 100%)
DUR	OXIGAS MANT	GOX IND	10M3	4	132935	PH	15	OK (EJECUTADO 100%)
DUR	YASVEG	GOX IND	6M3	1	138534	PH	15	OK (EJECUTADO 100%)
DUR	ELBA GUEVARA	GAN IND	6M3	1	139011	PH	15	OK (EJECUTADO 100%)
DUR	OXIDEL	GOX IND	5,5M3	1	137910	PH	15	EN MANTENIMIENTO
DUR	MARIA ALAVA	GOX MED	0,58M3	1	139204	PH	15	OK (EJECUTADO 100%)
DUR	IRO SAMBORO	GOX MED	1M3	1	138841	PH	15	OK (EJECUTADO 100%)
DUR	ESALJA DAULI	CO2 IND	9KG	1	138827	PH	15	OK (EJECUTADO 100%)
DUR	CHANG	GOX IND	6M3	10	137918	PH	15	OK (EJECUTADO 100%)
DUR	OXIDEL	GOX MED	3M3	1	137821	PH	15	OK (EJECUTADO 100%)
DUR	JOMBERO GYI	GOX MED	0,46M3	1	140003	PH	15	OK (EJECUTADO 100%)
DUR	JOMBERO GYI	GOX MED	2M3	2	140003	PH	15	EN MANTENIMIENTO
UIO	FSQ	GAR IND	6M3	1	5601	PH	20	OK (EJECUTADO 100%)
UIO	FSQ	GAR IND	7M3	1	5601	PH	20	OK (EJECUTADO 100%)
UIO	FSQ	GOX MED	6M3	3	5601	PH	20	OK (EJECUTADO 100%)
UIO	OXICEN 3	GOX MED	10M3	1	5608	PH	20	OK (EJECUTADO 100%)

2.4.5.2 Implementación de un sistema general FIFO y tarjeta kanban para

gestionar el flujo de cilindros en el taller. En primer lugar, se llevó a cabo la socialización de la metodología FIFO con el personal del taller, explicando su principio fundamental, tal como se muestra en la Figura 37, el cual establece que los cilindros deben ser atendidos estrictamente en el orden de llegada. Durante esta etapa, se enfatizó la importancia de respetar la secuencia establecida para evitar acumulaciones innecesarias, reprocesos y retrasos en la liberación de los cilindros. Asimismo, se aclararon los criterios que debían considerarse para determinar el orden de ingreso, tales como la fecha y hora de llegada, así como la documentación asociada a cada unidad.

Figura 37

Socialización con el personal operativo sobre metodología FIFO



Posteriormente, se ejecutó el entrenamiento práctico del personal en el área operativa, con el fin de asegurar la correcta aplicación del sistema FIFO en condiciones

reales de trabajo. En esta fase, los cilindros fueron clasificados y ordenados físicamente dentro del taller de acuerdo con su secuencia de llegada (véase Figura 38), esta organización física facilitó la visualización del flujo y redujo la variabilidad en la toma de decisiones operativas.

Figura 38

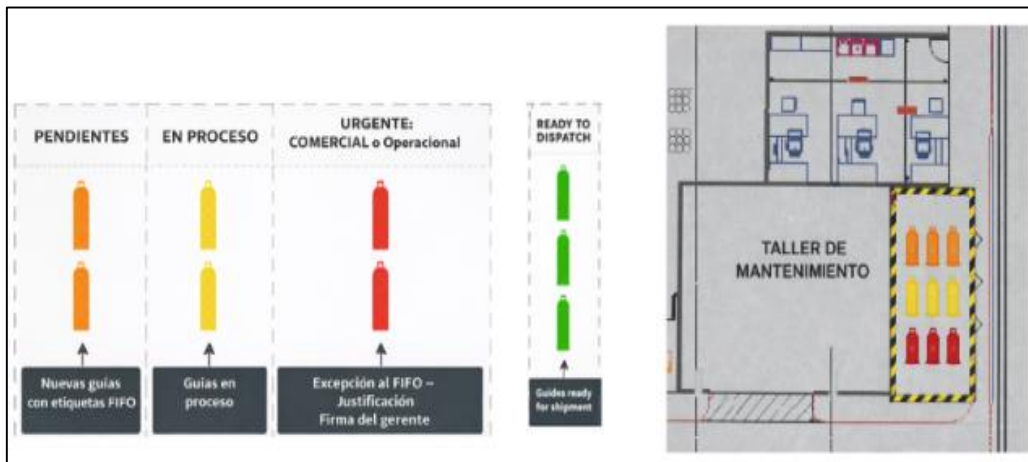
Ordenamiento de los cilindros en las zonas FIFO establecidas



Adicionalmente, se propuso y estandarizó el uso de colores diferenciados como parte del sistema FIFO, con el objetivo de facilitar la identificación visual del estado y la prioridad de cada cilindro dentro del taller, disposición que se detalla en la Figura 39. Para ello, se asignó un color específico a cada condición del proceso, permitiendo distinguir de forma inmediata las unidades pendientes, en proceso, urgentes y listas para despacho.

Figura 39

Designación de las zonas FIFO establecidas



Esta codificación cromática fue definida considerando criterios de claridad visual y facilidad de interpretación por parte de los operadores, reduciendo la necesidad de consultas verbales y evitando errores en la secuenciación del trabajo.

Durante el flujo de la implementación, tal como se detalla en la Tabla 7, se registró la presencia de 7 órdenes de cilindros en estado pendiente y 16 órdenes en proceso de mantenimiento activo. Asimismo, se logró dar prioridad estratégica a 1 orden bajo la categoría de urgente (comercial u operacional), asegurando que el flujo respetara estrictamente las jerarquías de atención establecidas para minimizar los tiempos de espera en el despacho.

Tabla 7

Registro de las órdenes de cilindros en las zonas FIFO

Pendientes	En proceso	Urgente:	
		Comercial u Operacional	Total
7	16	1	24

A continuación, se integró el uso del sistema FIFO con las tarjetas Kanban dentro del flujo normal del taller. Cada cilindro fue asociado a su respectiva tarjeta, la cual acompañó a la unidad durante las distintas etapas del proceso, sirviendo como referencia visual para la secuenciación y la priorización de las actividades de mantenimiento (Figura 40). Con ello, se logró que el flujo de trabajo se base en criterios objetivos y visibles, reduciendo la dependencia de comunicación verbal o de la experiencia individual del operador.

Figura 40

Implementación de las Tarjetas kanban en las guías de cilindros



Posteriormente, se realizó la verificación del cumplimiento del sistema implementado, observando el respeto del orden de atención establecido y la correcta utilización de las tarjetas Kanban. Durante esta etapa, se identificaron ajustes menores relacionados con la ubicación de los cilindros y la disposición de las tarjetas, los cuales fueron corregidos oportunamente para asegurar la estabilidad del sistema.

2.4.5.3 Implementación de un sistema de visualización operativa KANBAN mediante un panel de control digital para la gestión en tiempo real del flujo de cilindros. Con la finalidad de fortalecer el control visual del flujo de cilindros y mejorar

la toma de decisiones operativas en tiempo real, se desarrolló e implementó la solución S4, la cual consistió en la aplicación de un sistema Kanban de visualización operativa mediante un panel de control. Esta solución se planteó como una evolución progresiva de los sistemas FIFO y Kanban físicos previamente implementados, permitiendo centralizar la información del proceso y facilitar su seguimiento.

En primer lugar, se diseñó un prototipo conceptual de alta resolución, referenciado en la Figura 41, el cual tuvo como objetivo definir cómo podría visualizarse de forma digital el estado de las guías y el flujo de cilindros dentro del taller. En este prototipo se estructuró la información clave a mostrar, tales como el número de documento, fecha y hora de llegada, cantidad de cilindros, estado del proceso y fecha estimada de liberación. Esta etapa permitió establecer los requerimientos funcionales del sistema y validar la utilidad de la visualización antes de su implementación operativa.

Figura 41

Referencia del Prototipo de alta Resolución de la Solución



Posteriormente, y considerando las limitaciones de recursos y el enfoque práctico del proyecto, se procedió a la implementación de una versión de baja resolución del sistema kanban (Figura 42). Para ello, se centralizó la visualización del estado de las guías mediante un tablero físico ubicado en un punto estratégico del taller,

permitiendo que el personal tenga acceso inmediato a la información sin necesidad de consultar múltiples fuentes. Este tablero funcionó como un panel de control operativo, en el cual se consolidó la información relevante del flujo de cilindros.

De manera complementaria, se utilizaron tarjetas Kanban codificadas por colores para representar visualmente el estado de cada guía. Cada tarjeta incluyó información básica del proceso, como el código de la guía, el tipo de cilindro, la fecha de ingreso y el estado actual. La codificación por colores permitió identificar rápidamente las guías pendientes, en proceso, urgentes o listas para despacho, reforzando el principio FIFO y reduciendo la posibilidad de errores en la priorización.

Figura 42

Referencia del Prototipo de Baja Resolución de la Solución



Finalmente, el sistema kanban implementado permitió visualizar de forma clara y continua el avance de las guías a lo largo del proceso, facilitando el control del flujo de cilindros dentro del taller. Gracias a esta visualización centralizada, se logró disminuir la acumulación de unidades tanto en el área de espera como en el área de despacho, ya que los operadores identificaron con mayor facilidad los cuellos de botella y actuaron oportunamente.

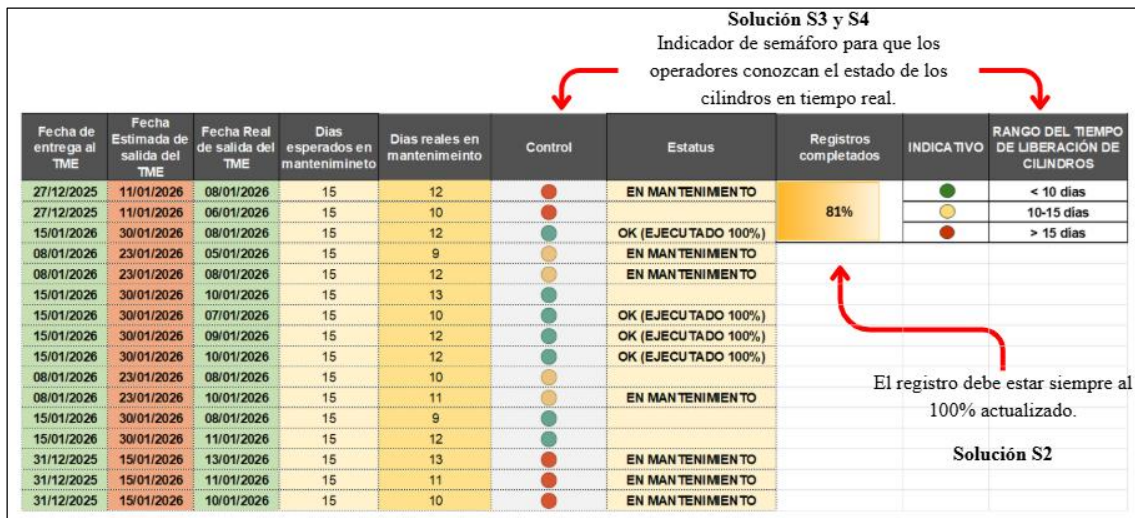
2.5 Control

2.5.1 Plan de Control

Tras la ejecución de las mejoras, se estableció un plan de control riguroso para garantizar la sostenibilidad de los resultados obtenidos. Bajo este enfoque, se definieron acciones preventivas específicas, tales como la supervisión de los registros de entrada y la monitorización en tiempo real de las guías de cilindros en el taller de mantenimiento, lo cual se muestra en la figura 43. Asimismo, este mecanismo de control permitió asegurar que el flujo de cilindros respetara estrictamente el orden de llegada, activando protocolos de reacción inmediatos ante cualquier desactualización del sistema o inconsistencia en los datos.

Figura 43

Integración de los controles visuales al sistema de la empresa



Como soporte fundamental de esta etapa, la estructura detallada de las responsabilidades, los métodos de control y los canales de actuación se evidenció en la Figura 44, consolidando así una gestión operativa robusta y predecible.

Figura 44*Plan de Control de las Soluciones*

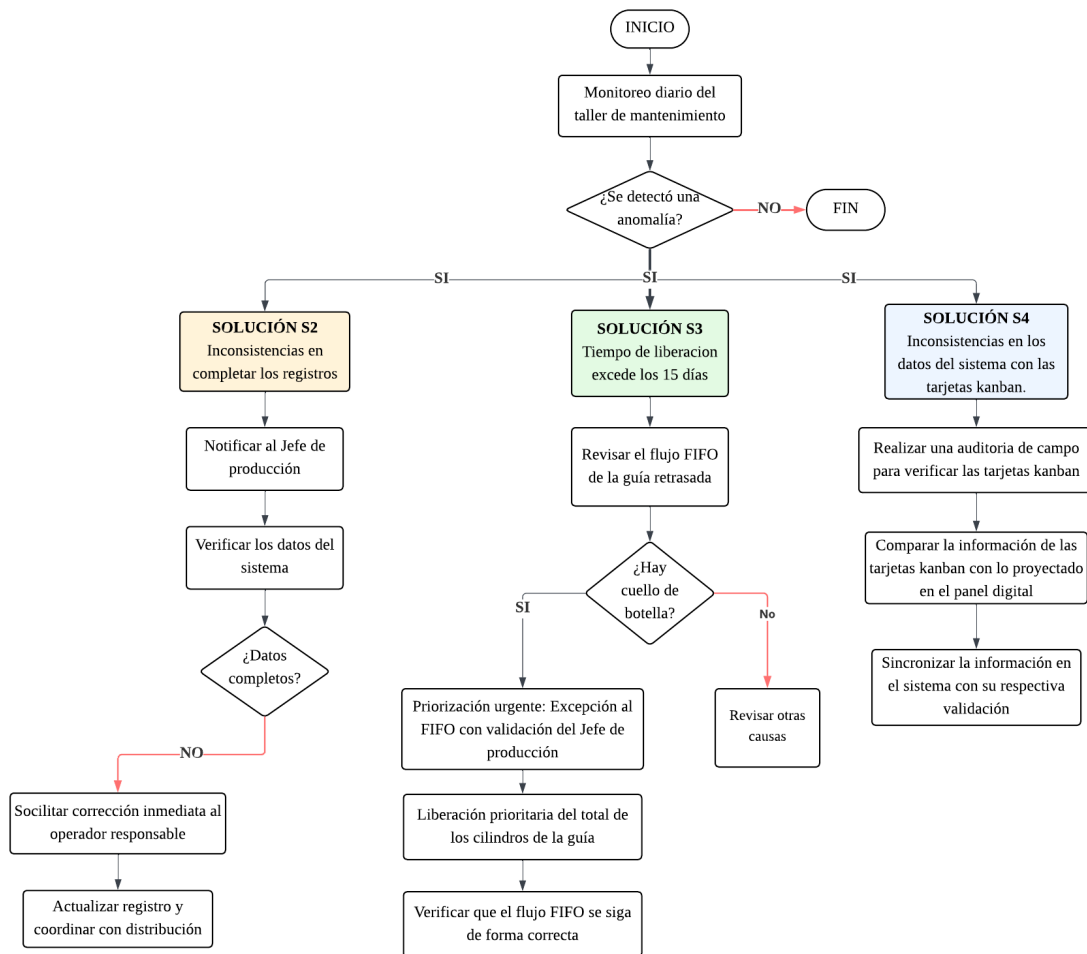
Soluciones	¿Qué?	¿Cuándo?	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Quién?	¿Dónde?	Reacción
Estandarización del proceso de registro y control del estado de liberación de la guía del cilindro.	Los registros de entrada y liberación de las guías de cilindros se ingresen en el sistema de la empresa.	Diariamente, al finalizar cada orden de mantenimiento	Para eliminar errores de datos que retrasan la liberación y mejorar la coordinación con el departamento de distribución.	Mediante una lista de chequeo obligatoria y validación por el Jefe de producción	Jefe de Producción y encargado del taller	Sistema de la empresa	Cuando haya inconsistencias en los registros
Implementar un sistema FIFO general y un tablero Kanban para gestionar el flujo de cilindros en el taller.	Gestionar el flujo de cilindros respetando estrictamente el orden de llegada.	En tiempo real, cada vez que un cilindro se mueve entre estaciones.	Para reducir la variabilidad del tiempo de ciclo y evitar que cilindros antiguos queden estancados.	Usando tarjetas kanban y delimitando zonas físicas de espera.	Encargado del taller	En el taller de mantenimiento	Los tiempos de liberación superen los 15 días.
Implementación de un sistema de visualización operativa mediante un panel de control digital.	Monitorear en tiempo real los KPIs de mantenimiento.	Actualización automática y revisión en reuniones de cambio de turno.	Para dar visibilidad al estado de cada cilindro y tomar decisiones basadas en datos.	Integrando los datos del sistema de registros a un dashboard (Power BI o similar).	Encargado del taller	Pantalla principal en el taller.	Desactualización en el sistema

3.5 Plan de Reacción

Para asegurar la sostenibilidad de las mejoras, se diseñó un diagrama de flujo de reacción enfocado en el monitoreo diario del taller, tal como se ilustra en la Figura 45. Ante cualquier anomalía, el protocolo estableció rutas específicas: para la **S2**, se priorizó la corrección de registros; en la **S3**, se activó la revisión del flujo FIFO ante retrasos superiores a 15 días; y para la **S4**, se determinó ejecutar auditorías de campo para sincronizar los datos del sistema con las tarjetas físicas. Este esquema estandarizó la respuesta ante fallos, garantizando un flujo operativo normalizado.

Figura 45

Plan de Reacción de las Soluciones



Capítulo 3

3. Resultados y Análisis

3.1 Resultados de las Soluciones

Se determinó que las soluciones implementadas contribuyeron de manera conjunta a la mejora del ciclo operativo, logrando que el tiempo máximo de liberación de los cilindros se acortara hasta alcanzar los 11 días, hecho que se constata en la Figura 46. Asimismo, el tiempo de espera previo al mantenimiento descendió de 6 a 4 días, lo cual propició un flujo de trabajo superior y permitió que la transición de las unidades entre las distintas estaciones fuera más ágil y ordenada. Complementariamente, se realizó una comparación entre el estado inicial y el final para cuantificar el impacto del proyecto.

Antes de la intervención, el tiempo promedio de liberación se situaba en 12,86 días; no obstante, una vez aplicadas las soluciones, se logró disminuir dicho promedio a 10,96 días, tal como se ilustra en la Figura 46. Este resultado representó una mejora del 15% en el ciclo total y una reducción del 66% en el GAP, alcanzando de este modo el escenario optimista planificado al inicio del proyecto.

Figura 46

Serie de tiempo de liberación del cilindro luego de la implementación de mejoras



3.2 Prueba de Normalidad

Con el propósito de determinar si los datos recopilados tras la implementación seguían una distribución normal, se procedió a realizar la prueba de Shapiro-Wilk (Figura 47). Este análisis fue fundamental para validar el uso posterior de herramientas de estadística paramétrica. Los resultados obtenidos se detallan a continuación:

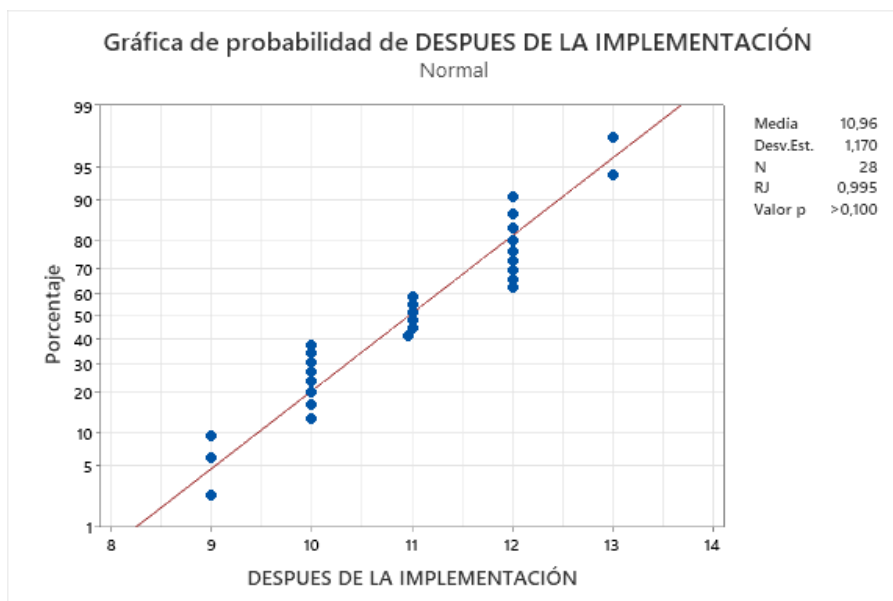
H0= Los datos siguen una distribución normal

H1= Los datos no siguen una distribución normal

En primer lugar, se analizó la normalidad de los datos, en la cual se aprecia que los puntos experimentales se alinearon de forma estrecha a la recta de ajuste. Esta proximidad visual indicó, desde un inicio, que no existían desviaciones significativas respecto a la normalidad teórica.

Figura 47

Prueba de normalidad de los datos de la implementación



Una vez confirmada la normalidad de los datos posteriores a la implementación, se continuó con el análisis de estabilidad del proceso mediante herramientas de control estadístico, con el fin de verificar que el comportamiento del proceso se mantuviera bajo

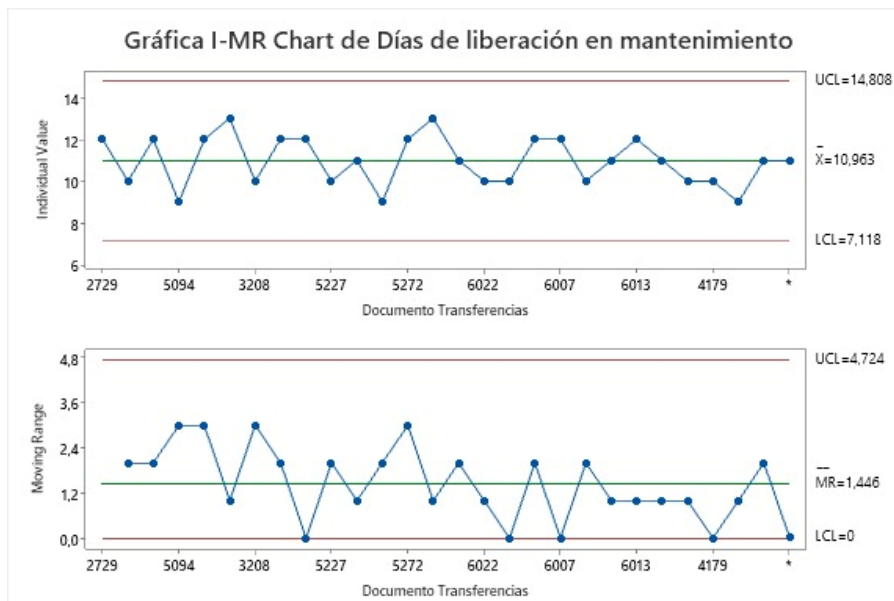
control y sin presencia de causas especiales de variación. Posteriormente, y considerando un proceso estable, se realizó el análisis de capacidad, con el objetivo de evaluar si el desempeño alcanzado fue capaz de cumplir de manera consistente con los objetivos establecidos.

3.3 Estabilidad y Capacidad del estado final

En primera instancia, se evaluó la robustez del flujo operativo mediante un análisis de estabilidad fundamentado en el gráfico de control I-MR. Tras la ejecución de las mejoras, se constató que el sistema alcanzó una estabilidad del 100%, lo cual se visualiza en la Figura 48, eliminando las causas especiales de variación que impedían un comportamiento predecible.

Figura 48

Grafica I-MR de las soluciones implementadas



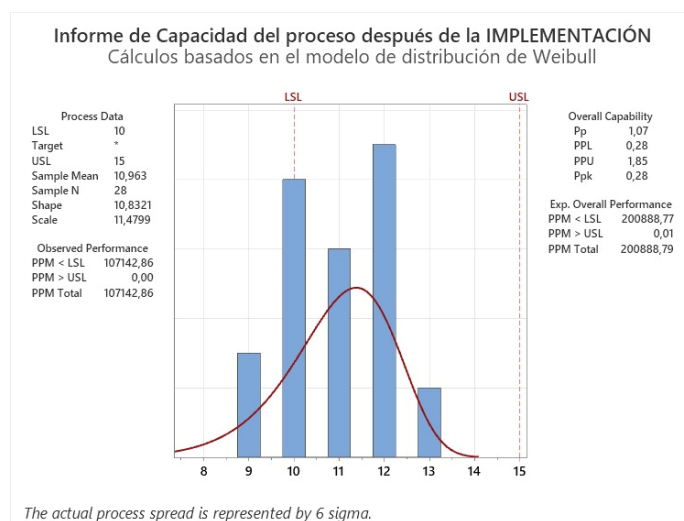
Cabe destacar que en la etapa inicial no fue técnicamente viable realizar el estudio de capacidad debido a dicha inestabilidad; sin embargo, bajo las nuevas condiciones operativas, se examinaron los índices Pp y Ppk.

El Pp, entendido como la métrica que evalúa la capacidad potencial del proceso mediante la dispersión total de los datos frente a las especificaciones, registró un valor de 1.07, como se observa en la Figura 49. Este hallazgo confirmó que el proceso es parcialmente capaz. Si bien el sistema logra ajustarse a los límites de especificación, el valor cercano a la unidad indica una sensibilidad alta ante variaciones externas que pueden afectar este desempeño que incluyen: fluctuaciones en la demanda que saturan la capacidad instalada, el estado técnico de los lotes que ingresan con daños críticos, la disponibilidad de infraestructura ante fallas técnicas en los equipos, y el factor humano derivado de la ausencia imprevista de cualquiera de los 5 operarios del taller.

El análisis de capacidad demostró que el proceso alcanzó un índice Ppk de 0,28, lo que evidenció un desempeño deficiente debido al descentramiento de la media respecto a los límites establecidos. Pese a que el sistema mostró estabilidad, este valor inferior a 1 confirmó que una fracción significativa de los tiempos de liberación se concentró cerca del límite inferior (LSL = 10), generando un alto volumen de salidas fuera de especificación.

Figura 49

Capacidad de las soluciones implementadas



3.4 Validación Estadística (Pruebas T-Welch y Mann-Whitney)

Con el propósito de otorgar rigor científico a los hallazgos, se empleó una estrategia de triangulación estadística mediante la aplicación de las pruebas T-Welch y Mann-Whitney. Estos análisis permitieron contrastar la naturaleza de los datos antes y después de la intervención, confirmando de manera concluyente que la diferencia entre las medianas y medias de ambos periodos resultó estadísticamente significativa, donde el valor P-Value < 0.05 , actuó como el criterio de decisión para validar la mejora.

Prueba T-Welch

Supuestos

μ_1 = Media de los días de liberación antes de la mejora

μ_2 = Media de días de liberación después de la mejora

Diferencia = $\mu_1 - \mu_2$

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

Hipótesis alternativa (H_1): $\mu_1 - \mu_2 > 0$

Prueba Mann-Whitney

Supuestos

η_1 = Mediana de Días de Lanzamiento antes de la mejora.

η_2 = Mediana de los Días de Lanzamiento después de la mejora.

Diferencia = $\eta_1 - \eta_2$

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

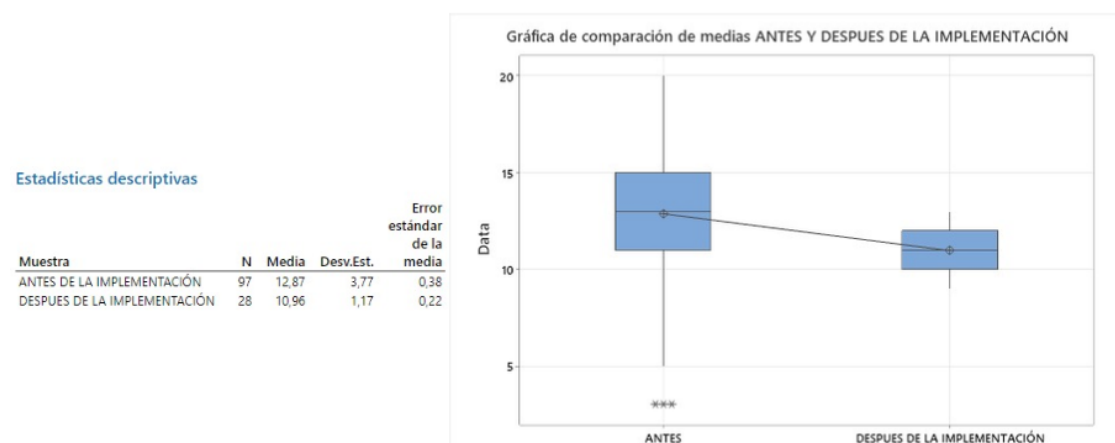
Hipótesis alternativa (H_1): $\eta_1 - \eta_2 > 0$

En particular, esta robustez estadística demostró que el nuevo sistema facilitó la transición hacia una operación más predecible, asegurando que el descenso en los tiempos de liberación fuera una consecuencia directa de las herramientas implementadas y no una fluctuación aleatoria del proceso.

Según se ilustra en el diagrama de cajas de la Figura 50, se constató una evolución favorable en la eficiencia operativa del taller tras la ejecución de las soluciones. El tiempo promedio de liberación experimentó un descenso de 12,87 a 10,96 días, lo que representó una mejora del 15% en la celeridad del mantenimiento. Más allá de la reducción de la media, el cambio más determinante se apreció en la compactación de los datos, cuya desviación estándar disminuyó de 3,77 a 1,17 días; esta notable disminución en la variabilidad ratificó la eliminación de las demoras críticas y garantizó una mayor predictibilidad en el flujo de trabajo.

Figura 50

Diagrama de caja de la comparación antes vs después de las soluciones implementadas



3.5 Métricas de Sostenibilidad

3.5.1 Impacto Económica

En lo que respecta a la dimensión económica, se efectuó un contraste con el historial de horas laboradas, donde el personal reportaba un excedente promedio de 8

horas extras semanales. Durante la implementación de las mejoras, se obtuvo como resultado directo un ahorro del 33% en el tiempo suplementario, logrando mitigar el uso de recursos en 2,64 horas por operario cada semana. Esta optimización no solo representó una reducción de costos, sino que fortaleció la salud financiera del proyecto al garantizar una operación rentable y alineada con los estándares de eficiencia de la compañía.

3.5.2 Impacto Social

En segunda instancia, el pilar social se orientó hacia el fortalecimiento de las habilidades operativas y la seguridad de los 5 operarios que conforman el equipo del taller. Previo a la ejecución del proyecto, el personal realizaba sus tareas bajo métodos empíricos y sin una guía clara, lo cual generaba una alta variabilidad en el proceso. No obstante, a través de sesiones de entrenamiento directo en el puesto de trabajo, se logró que el 80% de los trabajadores (equivalente a 4 de los 5 operarios) se familiarizara y aplicara correctamente las nuevas metodologías de control y flujo de materiales.

Por consiguiente, este aprendizaje práctico permitió que el equipo adoptara el uso de listas de verificación y herramientas visuales de manera fluida. Al final de la intervención, este entrenamiento no solo facilitó la transición hacia una operación más ordenada, sino que también garantizó un entorno laboral donde el personal se sintió más seguro y capacitado para cumplir con los objetivos diarios de producción.

3.5.3 Impacto Ambiental

Por último, en lo que respecta a la dimensión ambiental, el proyecto se centró en la gestión eficiente de los activos y la reducción del desperdicio industrial. En un periodo de tres meses, ingresó un volumen total de 700 cilindros al taller, de los cuales 35 unidades fueron rechazadas tras no superar las pruebas de integridad física. Este

valor representó exactamente el 5% del flujo total procesado, logrando cumplir con la meta de mantener la tasa de descarte por debajo del límite crítico establecido.

Cabe destacar que, aunque estas unidades fueron descartadas al no ser aptas para su reutilización convencional, se sometieron a procesos ambientales específicos que permitieron su transformación para ser reutilizadas en otros productos.

Consecuentemente, esta estrategia no solo garantizó la seguridad operativa al retirar envases que ya no cumplían su vida útil, sino que también promovió la sostenibilidad al evitar que estos materiales se convirtieran en desechos finales, favoreciendo así la economía circular dentro de la operación.

Capítulo 4

4. Conclusiones y Recomendaciones

4.1 Conclusiones

- Se logró reducir el tiempo promedio de liberación de cilindros de 12,86 días a 10,96 días, alcanzando una mejora del 15% en el ciclo total y cumpliendo con el escenario óptimo de reducir la brecha del GAP en un 66%.
- Se identificaron, mediante herramientas de priorización y análisis de Pareto, que el registro tardío de datos, la selección aleatoria de unidades y las deficiencias operativas en la prueba hidrostática constituían las causas raíz de los retrasos.
- Se implementaron soluciones basadas en la estandarización de registros de salida, la delimitación física de áreas bajo sistema FIFO y el uso de tableros Kanban digitales, las cuales en conjunto impactan significativamente en la reducción del tiempo de liberación de los cilindros.
- Se evaluó la eficacia de las mejoras mediante un análisis de estabilidad que confirmó que el sistema alcanzó un 100% de estabilidad operacional al eliminar los puntos fuera de control. Sin embargo, el índice Pp de 1,04 define al proceso como parcialmente capaz, lo que, sumado a un Ppk de 0,28, evidencia un cumplimiento de metas sumamente ajustado y un descentramiento que deja al proceso sin margen de maniobra ante variaciones externas del proceso.
- Se validaron las métricas de sostenibilidad a través de un ahorro del 33% en las horas extras semanales respecto a las 8 horas históricas, el entrenamiento práctico del 80% de los 5 operarios del taller y la contención de la tasa de descarte de cilindros por debajo del 5% del total ingresado.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda formalizar la adquisición de una segunda máquina para pruebas hidrostáticas y la compra de acoples adicionales, puesto que esta área se identificó como un cuello de botella físico que limita la capacidad máxima del taller a pesar de las mejoras administrativas.
- Es fundamental extender el uso del tablero Kanban digital a otras áreas de la planta, como el departamento de distribución, para sincronizar la logística externa con el ritmo de salida del taller y evitar acumulaciones innecesarias de producto terminado.
- Dada la limitación de este proyecto en cuanto a la rotación de personal, se sugiere realizar un análisis complementario de incentivos o capacitación técnica continua para reducir el ausentismo y la alta rotación, factores que siguen representando un riesgo para la sostenibilidad de la metodología implementada.
- Mantener el rigor en las auditorías de campo diarias definidas en el plan de reacción para asegurar que los operadores no retornen a prácticas de selección aleatoria ante picos de demanda o pedidos urgentes.

Referencias

- Ahmed, S., Muneer, S., & Ahmad, M. (2022). *Lean Six Sigma (DMAIC) as a strategic tool for operational excellence: A case study*. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 39(6), 1432-1455. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-01-2021-0012>
- El-Homsi, A., & Mtawa, A. (2023). Effect of applying lean maintenance in oil and gas fields. *Journal of Engineering Sciences*, 51(3), 401–414.
- García, A., Sánchez, M., & Pérez, J. (2020). *Mejora de flujos de trabajo mediante la implementación de sistemas FIFO en entornos industriales*. *Revista de Ingeniería y Gestión de Operaciones*, 14(2), 45-58.
- George, M. L., Rowlands, D., Price, M., & Maxey, J. (2023). *The Lean Six Sigma Pocket Toolbook: A Quick Reference Guide to 100 Tools for Improving Quality and Speed*. McGraw Hill.
- Jalham, I. S., & Al-Shobaki, S. (2022). “The Application of Lean Principles and DMAIC Approach to the Maintenance Process: A Case Study.” *Jordan Journal of Business Administration*, 18(2), 245–262.
- Mishra, P., Pandey, C. M., Singh, U., Gupta, A., Sahu, C., & Keshri, A. (2019). *Descriptive statistics and normality tests for statistical data*. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, 22(1), 67-72. https://doi.org/10.4103/aca.ACA_157_18
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2021). *The Six Sigma Handbook* (6ta ed.). McGraw Hill.
- Sajan, S., Shalij, P. R., & Ramesh, A. (2023). *A framework for the implementation of Lean Six Sigma in small and medium-sized enterprises*. *Journal of Engineering, Design and Technology*. <https://doi.org/10.1108/JEDT-02-2023-0054>

Apéndices

Apéndice A

Evidencia de las verificaciones de las causas potenciales mediante la herramienta GEMBA y análisis estadístico.

Verificación de la Causa Potencial #26: “Registro tardío de las salidas de cilindros, lo que provoca una falta de coordinación entre el taller de mantenimiento y distribución.”.

Cantidad que ingresan al TME	Documento Transferencia	Fecha de entrega al Taller	Fecha que se registra la salida	Demora en el registro (días)	Días de Liberacion
74	536	10/01/2025	-	-	
45	536	10/01/2025	10/04/2025	0	3
29	536	10/01/2025	10/06/2025	2	5
6	5609	10/06/2025	-	-	
2	5609	10/06/2025	10/23/2025	0	17
4	5609	10/06/2025	10/25/2025	2	19
12	5658	27/10/2025	-	-	
7	5658	27/10/2025	4/11/2025	0	9
5	5658	27/10/2025	8/11/2025	4	12
5	5642	21/10/2025	-	-	
4	5642	21/10/2025	3/11/2025	0	13
1	5642	21/10/2025	4/11/2025	1	14

Nota: Una muestra de la data sobre las demoras en el registro.

Verificación de la Causa Potencial #7: “Selección aleatoria de cilindros en el área de espera antes de mantenimiento”.

Documento de transferencia	Cilindros ingresados	Días de espera antes de mantenimiento	Días reales en mantenimiento (Y)	Días de espera en despacho	Duración total de liberación de la guía (días)	Tipo de Selección
132938	4	0	12	0	12	Liberación completa
137918	10	2	14	2	18	Liberación parcial
140003	2	0	15	0	15	Liberación completa
536	74	4	19	3	26	Liberación parcial
5601	3	0	10	0	10	Liberación completa
5608	12	0	12	0	12	Liberación completa
5609	6	1	17	2	20	Liberación parcial

Nota: Se muestra la duración total de la liberación de guías completas y parciales.

Verificación de la Causa Potencial (5): “Deficiencias operacionales en los equipos y recursos clave para la prueba hidrostática.”.

Fecha de parada de máquina	Días de liberación con máquina fuera servicio	Días de liberación con máquina operativa
28/01/2025	16	11
13/02/2025	20	13
21/02/2025	20	12
03/03/2025	17	15
06/04/2025	15	14
18/04/2025	19	12
23/04/2025	18	13
26/04/2025	19	10
01/05/2025	19	12
08/05/2025	17	12
14/05/2025	19	12
17/05/2025	17	15
01/06/2025	17	16
09/06/2025	16	15
14/06/2025	17	10
21/06/2025	21	11
29/06/2025	16	12

Nota: Data que proporciona información sobre maquina fuera de servicio.