

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Reducción del tiempo de ciclo de instalación de dispositivos tecnológicos en
vehículos

INGE-3092

Proyecto Integrador

Previo a la obtención del Título de:

Ingenieras Industriales

Presentado por:

Genesis Denisse Barros Barzallo

Claudia Elena Montiel Perdomo

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mis padres, por su apoyo incondicional a lo largo de todo mi camino estudiantil y por ser siempre mis guías y mi mayor motivación.

En segundo lugar, a mi hermano Mauricio, quien, desde mi infancia, ha estado a mi lado, brindándome su ayuda y guiándome con paciencia en cada paso de mi aprendizaje.

Agradecimientos

Agradezco a Dios, por brindarme salud, fortaleza y perseverancia para culminar esta etapa de mi formación profesional.

A mis padres, Joel y familia, por su apoyo incondicional, comprensión y palabras de aliento durante todo este proceso.

A mis profesores, por su guía, dedicación y valiosos aportes académicos, fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

A mis amigos de la carrera, quienes contribuyeron directa e indirectamente a mi crecimiento académico.

Finalmente, extendiendo mi agradecimiento a todas las personas que, de algún modo, colaboraron y aportaron para la realización de este logro.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi abuelo, ingeniero industrial y maestro de vida, quien con su ejemplo, disciplina y conocimiento sembró en mí el orgullo de ser ingeniera.

Agradecimientos

Agradezco a mis padres por su amor, apoyo y confianza incondicional durante todo este proceso.

A mi hermana, por estar ahí para ayudarme, acompañarme en las malas noches y sostenerme cuando más lo necesitaba.

A mis amigas/os, por acompañarme y sostenerme con su ánimo en cada etapa.

A mis amigos de la universidad, por los aprendizajes compartidos y el trabajo en equipo que marcó mi formación.

A mis excompañeros de trabajo, por las experiencias y enseñanzas que aportaron a mi crecimiento profesional.

A todos quienes estuvieron presentes de alguna manera, gracias por ser parte de este logro.

Declaración Expresa

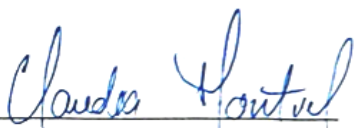
Nosotros, Claudia Elena Montiel Perdomo y Genesis Denisse Barros Barzallo, acordamos y reconocemos que:

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

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

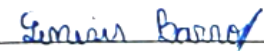
En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa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

Guayaquil, 7 de octubre del 2025.



Claudia Elena Montiel

Perdomo



Genesis Denisse Barros

Barzallo

Evaluadores

María Fernanda López Sarzosa

Profesor de Materia

Sofía Anabel López Iglesias

Tutor de proyecto

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo reducir el tiempo de ciclo del servicio de instalación de dispositivos tecnológicos en vehículos, debido a los altos niveles de variabilidad y al incumplimiento del tiempo estándar de 160 minutos, los cuales afectan la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente. Se plantea como hipótesis que la optimización del flujo del proceso, mediante mejoras en layout, control de ingreso y trazabilidad digital, permite disminuir significativamente el tiempo total de instalación y su variabilidad. La justificación del estudio se fundamenta en la necesidad de mejorar el desempeño operativo y la competitividad de la empresa. Para el desarrollo del proyecto se aplicó la metodología DMAIC. Se utilizaron herramientas de análisis de procesos, simulación en FlexSim, rediseño de layout, diseño de un sistema pull de servicio, desarrollo de una aplicación de trazabilidad y técnicas estadísticas como análisis de normalidad, prueba t pareada y análisis de capacidad del proceso. Los resultados mostraron una reducción de la media del tiempo de ciclo de 168.79 minutos a 104.79 minutos, una mejora significativa confirmada estadísticamente y un incremento en los indicadores económico, social y ambiental asociados a la productividad. Se concluye que la integración de mejoras de flujo, control operativo y digitalización permite establecer un proceso más eficiente, estable y sostenible en el tiempo.

Palabras Clave: DMAIC, Tiempo de ciclo de instalación, sistema pull, trazabilidad digital, productividad.

Abstract

The objective of this project is to reduce the cycle time of the technological device installation service in vehicles, due to high levels of variability and the failure to meet the standard time of 160 minutes, which negatively affect operational efficiency and customer satisfaction. The hypothesis is that optimizing the process flow through improvements in layout, intake control, and digital traceability can significantly reduce the total installation time and its variability. The study is justified by the need to enhance the company's operational performance and competitiveness.

For the project development, the DMAIC methodology was applied. Process analysis tools, simulation in FlexSim, layout redesign, design of a service pull system, development of a traceability application, and statistical techniques such as normality analysis, paired t-test, and process capability analysis were used. The results showed a reduction in the mean cycle time from 168.79 minutes to 104.79 minutes, a statistically significant improvement, and an increase in economic, social, and environmental indicators associated with productivity.

It is concluded that integrating flow improvements, operational control, and digitalization allows for establishing a more efficient, stable, and sustainable process over time.

Keywords: *DMAIC, installation cycle time, pull system, digital traceability, productivity.*

Índice general

Resumen.....	8
<i>Abstract</i>	9
Índice general.....	10
Abreviaturas.....	13
Capítulo 1	1
1. Introducción.....	2
1.1 Descripción del Problema	3
1.2 Justificación del Problema	5
1.3 Objetivos	6
1.3.1 Objetivo general	6
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
1.4 Marco teórico	7
Capítulo 2	8
2. Metodología.....	9
2.1 Definir.....	9
2.1.1 SIPOC	9
2.1.2 Voz del Cliente (VOC)	10
2.1.3 Diagrama de Afinidad	11
2.1.4 Árbol Crítico de Calidad.....	11
2.1.5 Variable de respuesta.....	12
2.1.6 Serie de tiempo	13
2.1.7 Definición del problema	13
2.1.8 Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	14
2.1.9 Triple Línea Base	14

2.1.10	Mapeo del proceso	15
2.2	Medición.....	16
2.2.1	Esquema de muestreo.....	16
2.2.2	Plan de recolección de datos.....	16
2.2.3	Validación de datos	16
2.2.4	Análisis de Confiabilidad de datos del Plan de Triple Resultado (TBL) ..	18
2.2.5	Análisis de Distribución de la Variable de Decisión (Y)	19
2.2.6	Análisis descriptivo de la variable de respuesta (TCI)	20
2.2.7	Estratificación: Análisis descriptivo por tipos de dispositivos.....	20
2.2.8	Estratificación: Análisis descriptivo por variables independientes	22
.....		22
2.2.9	Análisis de estabilidad del Tiempo de Ciclo de Instalación.....	23
2.2.10	Análisis de capacidad del Tiempo de Ciclo de Instalación	24
2.3	Análisis.....	24
2.3.1	Diagrama Ishikawa	24
2.3.2	Matriz causa-efecto	25
2.3.3	Matriz impacto-esfuerzo	27
2.3.4	Plan de verificación de causas	28
Nota: Las causas fueron verificadas con la toma de tiempo y datos históricos compartidos por la empresa.....		28
2.3.5	Verificación de Causas	29
2.3.6	Causas raíz	31
2.4	Mejora	31
2.4.1	Posible Soluciones	32
2.4.2	Plan de Implementación	32

2.4.3	Análisis Económico	33
2.4.4	Implementación	34
Capítulo 3	38
3.	Resultados y análisis.....	39
3.1	Resultados de la simulación de la solución 1	39
3.2	Resultados de la implementación de la solución 2 y 3.....	40
3.2.1	Comparación del tiempo de ciclo antes y después de la implementación	40
3.2.2	Análisis de Capacidad	42
3.3	Indicadores de la Triple Línea Base posterior a la implementación de soluciones	44
3.3.1	Impacto económico	44
3.3.2	Impacto Social	44
3.3.3	Impacto Ambiental.....	45
3.4	Plan de Control	45
3.4.1	Control 1. El vehículo se encuentra en el puesto correcto.....	45
3.4.2	Control 2. Criterios de ingreso al taller	46
3.4.3	Control 3, 4 y 5 Actualización continua del estado de las órdenes de trabajo	47
Capítulo 4	48
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	49
4.1	Conclusiones.....	49
4.2	Recomendaciones	50
5.	Referencias	51

Índice de tablas

Tabla I. SIPOC del proceso de instalación	9
Tabla III. Resumen del proceso de instalación.....	15
Tabla IV. Resumen de las variables de TCI	23
Tabla V. Resumen del proceso de instalación.....	25
Tabla VI. Tabla de causas potenciales	27
Tabla VII. Tabla del Plan de verificación de causas	28
Tabla VIII. Tabla de causa raíz.....	31
Tabla IX. Tabla de Posibles soluciones	32
Tabla X. Tabla de costos de implementación de las soluciones	32
Tabla XI. Tabla de plan de implementación	33

Índice de Figuras

Figura I. Voice Of Customers – Autoría propia	11
Figura II. Diagrama de afinidad – Autoría propia	11
Figura III. Serie de tiempo	13
Figura IV. Flujo del proceso de instalación	15
Figura V. Histograma de diferencia entre TCI sistema y TCI cronometrado	17
Figura VI. Prueba test-t de diferencias entre TCI sistema y TCI cronometrado	17
Figura VII. Histograma de diferencia entre TCI cronometrado y TCI sistema ajustado	17
Figura VIII. Prueba t de diferencia entre TCI cronometrado y TCI sistema ajustado.....	18
Figura IX. Gráfica de ingresos promedio mensuales	18
Figura X. Gráfica de índice de cumplimiento de tiempo pactado	18
Figura XI. Gráfica de probabilidad normal de los TCI (min).....	19
Figura XII. Informe de resumen de TCI (min).....	20
Figura XIII. Histograma de TCI (min) por tipo de instalación	20
Figura XIV. Gráfica de caja de TCI (min)	21
Figura XV. Prueba Kruskal-Wallis	21
Figura XVI. Informe de resumen de las variables de TCI	22
Figura XVII. Gráfica I-MR de TCI (min)	23

Figura XVIII. Informe de capacidad del proceso de CTI	24
Figura XIX. Diagrama Ishikawa – Autoría propia	25
Figura XX. Diagrama de causa y efecto – Autoría propia	26
Figura XXI. Gráfica de causas del aumento de tiempo de instalación	26
Figura XXII. Matriz de impacto y esfuerzo.....	27
Figura XXIII. Plan de verificación de causas	29
Figura XXIV. Gráfica de caja de tiempo en cola y tiempo total de ciclo.....	29
Figura XXV. Diagrama espaguetei	30
Figura XXVI. Fotos del área de trabajo (Taller)	30
Figura XXVII. Diagrama de espaguetei del layout propuesto	34
Figura XXVIII. Simulación del Layout Mejorado	35
Figura XXIX. Cumplimiento de política pull en la Aplicación	35
Figura XXX. Metodología de instalación basada en sistema pull con política de avance diferida	36
Figura XXXI. Pantallas del usuario del Supervisor de Taller	37
Figura XXXII Resultados "antes de la simulación"	39
Figura XXXIII Resultados "después de la simulación".....	39
Figura XXXIV Resultado de la prueba de hipótesis	41
Figura XXXV Estadística descriptiva del TCI.....	41
Figura XXXVI Gráfico de cajas del TCI antes y después de la implementación.....	41
Figura XXXVII Análisis de capacidad antes de la implementación	42
Figura XXXVIII Análisis de capacidad luego de la implementación	42
Figura XXXIX. Gráfico de cajas comparativo del tiempo de ejecución.....	43
Figura XL. Gráfico de cajas comparativo del tiempo de asignación	43
Figura XLI Control 1. El vehículo se encuentra en el puesto correcto	46
Figura XLII. Control 2. Criterios de ingreso al taller.....	47
Figura XLIII. Control 3, 4 y 5 Actualización continua del estado de las órdenes de trabajo	47

Abreviaturas

SIPOC: Supplier–Input–Process–Output–Customer

TCI: Tiempo de Ciclo de Instalación

DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar

TPS: Toyota Production System

VOC: Voice of Customer (Voz del Cliente)

ERP: Enterprise Resource Planning

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

TBL: Triple Bottom Line (Triple Línea Base)

WIP: Work In Process (Trabajo en Proceso)

AV: Actividades que Agregan Valor

NAV: Actividades que No Agregan Valor

NAVN: Actividades que No Agregan Valor pero son Necesarias

APP: Aplicación

KPI / KPIs: Key Performance Indicator(s)

SAC: Servicio al Cliente

Capítulo 1

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la seguridad vehicular se ha convertido en una prioridad para muchos propietarios de automóviles en Ecuador. De acuerdo con datos de la fiscalía general del Estado, en 2022 se registraron más de 11.000 denuncias por robo de vehículos (Telégrafo, 2023) lo que evidencia la creciente necesidad de los ciudadanos por proteger y monitorear sus vehículos mediante sistemas de seguridad tecnológica. Como consecuencia, ha aumentado la adopción de dispositivos de seguridad, tales como equipos de rastreo satelital, alarmas y sistemas de telemetría, lo que ha impulsado el crecimiento del sector de servicios técnicos especializados. El crecimiento de los servicios tecnológicos asociados a la seguridad vehicular responde a una tendencia global de digitalización y automatización de procesos, donde las empresas buscan mejorar la eficiencia y trazabilidad de sus operaciones (Heppelmann, 2014), particularmente de los talleres dedicados a la instalación y configuración de estos sistemas. Sin embargo, el proceso de instalación presenta desafíos significativos derivados de la gran diversidad de marcas, modelos y configuraciones eléctricas de los vehículos. Cada tipo de automóvil requiere un procedimiento distinto, lo que ocasiona variaciones en los tiempos de ejecución y afecta la eficiencia operativa de los talleres. Por la importancia que tiene tener un servicio productivo es necesario tener herramientas que permita la medición y su gestión (Tomás Fontalvo Herrera, 2018). Aunque el tiempo estándar estimado para completar una instalación es de aproximadamente una hora y media, en la práctica este periodo suele extenderse por factores técnicos, logísticos o de planificación interna.

En este contexto, el presente proyecto tiene como propósito analizar y proponer mejoras en el proceso de instalación de dispositivos de seguridad vehicular, con el fin de reducir los tiempos del servicio de instalación en taller y optimizar la experiencia del cliente.

Esta problemática reviste gran relevancia dentro del entorno empresarial, ya que un servicio más ágil permite atender un mayor número de vehículos por día, aumentar la productividad y mantener la satisfacción del cliente en un mercado cada vez más competitivo.

Desde el punto de vista académico, el proyecto se enmarca en la ingeniería industrial, aplicando herramientas de análisis de procesos, mejora continua y gestión operativa. Su desarrollo promueve competencias como la optimización de recursos, la estandarización de procedimientos y el control de calidad, aportando además una visión interdisciplinaria al integrar aspectos técnicos, humanos y organizacionales.

El alcance del presente estudio se orienta al diagnóstico y optimización del proceso de instalación en el taller de la empresa, buscando identificar los factores que afectan el cumplimiento del tiempo estándar de servicio y proponer soluciones prácticas para su mejora. Con ello, se espera contribuir no solo al fortalecimiento interno de la organización, sino también al sector productivo, al generar un modelo de referencia aplicable a empresas similares dedicadas a servicios tecnológicos y de seguridad.

En cuanto a la estructura del informe, el Capítulo 1 presenta el planteamiento del problema, los objetivos y el desarrollo del marco teórico del proyecto. El Capítulo 2 describe la metodología aplicada y las herramientas utilizadas. En el Capítulo 3 se exponen los resultados, el análisis y las propuestas de mejora. Finalmente, el Capítulo 4 recoge las conclusiones y recomendaciones orientadas a la sostenibilidad del proceso y a la mejora continua del servicio.

1.1 Descripción del Problema

En la actualidad, las empresas del sector de soluciones tecnológicas de seguridad y rastreo vehicular enfrentan el desafío de mantener procesos cada vez más ágiles y eficientes para responder a las demandas del mercado. En este contexto, la organización objeto de estudio ha identificado una problemática relacionada con el incremento en los tiempos de instalación de dispositivos tecnológicos vehicular, lo cual afecta directamente su productividad y la satisfacción de sus clientes.

La necesidad principal del estudio es la reducción de los tiempos de instalación de dispositivos tecnológicos dentro del taller técnico de la empresa. Esta problemática se analiza a

través de la variable “tiempo total del servicio de instalación por vehículo (también denominada tiempo de ciclo)”, la cual incide de manera directa en la eficiencia operativa y en la capacidad de atención al cliente.

A partir de esta necesidad, la organización cliente plantea tres requerimientos fundamentales para el desarrollo del proyecto:

- a) Identificar las principales causas que generan demoras en el proceso de instalación.
- b) Validar dichas causas mediante el uso de las herramientas correspondientes.
- c) Diseñar un plan de mejora que optimice los tiempos sin comprometer la calidad del servicio.

La ejecución del proyecto se desarrollará bajo determinadas restricciones que condicionan su alcance. En primer lugar, el estudio se limitará al proceso de instalación de dispositivos tecnológicos, excluyendo los servicios de desinstalación o chequeo. En segundo lugar, el análisis abarcará únicamente las actividades comprendidas entre la firma del acta de recepción y el registro del trabajo en el sistema. Finalmente, se trabajará con las condiciones actuales de recursos humanos y herramientas tecnológicas disponibles, sin modificaciones.

Asimismo, durante la implementación es posible que surjan dificultades operativas que incidan en los resultados del proyecto. Entre ellas se incluyen la resistencia al cambio por parte del personal técnico, la variabilidad del tiempo de instalación según el tipo de vehículo, y la incorporación de accesorios adicionales como botones de pánico, relés o sistemas de apertura, los cuales incrementan el tiempo total del servicio.

Desde el mes de junio del presente año, el tiempo promedio de instalación ha alcanzado un promedio de 206 minutos por vehículo, mientras que el tiempo técnico ideal establecido por la empresa es de 160 minutos. Esta diferencia representa una brecha de 46 minutos, lo que refleja una disminución en la eficiencia del proceso, generando consecuencias relevantes para la empresa. Entre las más importantes destacan la disminución de la productividad del taller, la reducción en

la cantidad de servicios diarios atendidos y, en ciertos casos, la insatisfacción de los clientes debido a los retrasos en la entrega de vehículos.

La empresa analizada se dedica a la comercialización e instalación de soluciones tecnológicas de seguridad y telemetría vehicular, ofreciendo productos y servicios destinados al monitoreo, rastreo y control de activos en movimiento. Su modelo de negocio integra la venta de equipos con la prestación de servicios técnicos especializados, operando desde un taller central en la ciudad de Guayaquil que atiende tanto a clientes corporativos como a usuarios particulares. Este entorno constituye el espacio operativo en el cual se llevará a cabo el presente estudio y sobre el cual se proyecta la aplicación de las propuestas de mejora.

1.2 Justificación del Problema

La reducción del tiempo total de instalación de dispositivos tecnológicos en vehículos se ha convertido en una necesidad prioritaria para la empresa, debido a su impacto directo en la productividad del taller y en la satisfacción del cliente. El incremento del tiempo de instalación por vehículo ha disminuido la capacidad operativa y, en algunos casos, fuerza a los instaladores a trabajar contra el reloj, aumentando los retrasos y afectando la percepción del cliente sobre el cumplimiento de los plazos.

Disminuir este tiempo permitirá recuperar la capacidad operativa del taller y mejorar el aprovechamiento de los recursos humanos y técnicos disponibles. La mejora de procesos permite optimizar recursos y aumentar la competitividad organizacional mediante la reducción de desperdicios y tiempo improductivos (Womack D. T., 2000). A su vez, la reducción del ciclo de servicio contribuirá a fortalecer la confianza del cliente, garantizando una atención más ágil y cumpliendo con los estándares de calidad establecidos por la organización.

El desarrollo de este proyecto también generará beneficios en diferentes dimensiones. Desde el ámbito económico. La reducción del tiempo por instalación permitirá incrementar los ingresos mensuales al poder atender a un mayor número de clientes con los mismos recursos. En

el ámbito social, el cumplimiento de los tiempos pactados reforzará la relación con los clientes y mejorará su experiencia de servicio. Finalmente, en el ámbito ambiental, la optimización del proceso contribuirá a reducir la generación de desechos especiales derivados de los servicios realizados, promoviendo prácticas más sostenibles dentro del taller.

En conjunto, este proyecto no solo busca resolver una problemática operativa, sino también aportar al desarrollo sostenible de la organización, aplicando herramientas de mejora continua orientadas a la reducción del tiempo de servicio, la responsabilidad ambiental y la satisfacción del cliente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Reducir el tiempo total promedio del servicio de instalación por vehículo desde 206 minutos hasta 160 minutos, a través de la implementación de un proyecto DMAIC, hasta enero de 2026.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Identificar las principales causas técnicas, operativas y de gestión que generan demoras en el ciclo del servicio desde la generación de la orden de trabajo hasta la salida del vehículo del taller.
2. Analizar los tiempos improductivos asociados a esperas, asignaciones, diagnósticos y verificaciones, evaluando su impacto en la productividad del taller y en la experiencia del cliente.
3. Proponer e implementar acciones de mejora que permitan optimizar la asignación de recursos, el acceso a herramientas y sistemas, y la coordinación entre técnicos, supervisores y programadores, garantizando un flujo de trabajo continuo y eficiente.

1.4 Marco teórico

La filosofía Lean Manufacturing surge del Sistema de Producción de Toyota (TPS), con el propósito de eliminar actividades que no agregan valor al cliente y optimizar el uso de los recursos (Shingō & Dillon, 1989). Este enfoque se basa en cinco principios fundamentales: definir el valor, identificar el flujo de valor, crear flujo continuo, establecer sistemas pull y buscar la perfección mediante la mejora continua o kaizen. Estos principios permiten estructurar procesos eficientes y orientados a maximizar el valor. (Womack & Jones, 1996; Womack D. T., 2000)

Su aplicación ha trascendido la industria automotriz hacia diversos sectores, incluyendo manufactura, servicios y salud, debido a su capacidad para reducir desperdicios y aumentar la productividad (Salonitis & Tsinopoulos, 2016). En este contexto, Lean se enfoca en la identificación y eliminación de actividades que no agregan valor, conocidas como *mudas*, entre las que se incluyen los tiempos de espera, defectos, sobreprocesos, movimientos innecesarios, inventarios excesivos y el desaprovechamiento del talento humano (Taiichi, 1988). No obstante, su implementación no se limita al uso de herramientas técnicas, sino que requiere el desarrollo de una cultura organizacional orientada a la mejora continua; en este sentido, Liker (2004) destaca que el éxito del enfoque Lean no solo depende de la implementación de herramientas, sino también del desarrollo de una cultura organizacional basada en la mejora continua y el aprendizaje constante.

En complemento, la metodología Six Sigma se enfoca en reducir la variabilidad de los procesos mediante herramientas estadísticas y un enfoque estructurado basado en datos. Su estructura DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) permite abordar de forma sistemática los problemas operativos desde su diagnóstico hasta su control (Gupta, 2013). Pande, Neuman y Cavanagh (2000) destacan que la aplicación disciplinada del ciclo DMAIC permite lograr mejoras significativas en el desempeño de los procesos, especialmente en la reducción de defectos y variabilidad.

La integración de los enfoques Lean y Six Sigma da origen a Lean Six Sigma, la cual combina la eliminación de desperdicios con la reducción de la variabilidad en los procesos, permitiendo mejorar simultáneamente la eficiencia y la calidad. George (2002) sostiene que Lean Six Sigma no solo acelera los procesos mediante la eliminación de actividades que no agregan valor, sino que también garantiza su estabilidad y confiabilidad a través del uso de herramientas estadísticas.

La efectividad de Lean Six Sigma ha sido ampliamente documentada en diversos sectores industriales y de servicios. Por ejemplo, Rifqi, Yuliani, & Syahputri (2021) demostraron que la implementación de Lean a través del ciclo DMAIC en una empresa automotriz redujo los tiempos de entrega en un 21%, confirmando su eficacia para optimizar procesos y aumentar la eficiencia. Por su parte, Laureani y Antony (2012) concluyen que la correcta implementación de esta metodología no solo mejora indicadores operativos, sino que también fortalece la cultura organizacional orientada a la mejora continua.

En este contexto, una vez identificadas e implementadas propuestas de mejora mediante el enfoque Lean Six Sigma, resulta fundamental evaluar su viabilidad y desempeño antes de su aplicación en entornos reales. En este sentido, la simulación de procesos se constituye como una herramienta clave, permitiendo reducir riesgos y optimizar la toma de decisiones (Jerry Banks, 2005).

De esta manera, el enfoque Lean-DMAIC se consolida como una herramienta eficaz para proyectos de mejora continua orientados a la reducción del tiempo de ciclo y al incremento de la eficiencia operativa, tal como en el presente estudio enfocado en los servicios de instalación de dispositivos tecnológicos en vehículos.

Capítulo 2

2. METODOLOGÍA

El presente proyecto se desarrolló bajo la metodología DMAIC, la cual consta de cinco fases: **Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar**, que se aplicaron secuencialmente para comprender la situación actual del proceso, identificar sus causas raíz, implementar soluciones efectivas y asegurar la sostenibilidad de los resultados obtenidos.

2.1 Definir

Esta primera fase constituyó el punto de partida de la metodología DMAIC. El objetivo durante esta etapa fue comprender y delimitar el proceso actual, así como identificar las principales necesidades, expectativas y preocupaciones de las partes interesadas.

2.1.1 SIPOC

Con el fin de obtener una visión general del proceso, se realizó un levantamiento de información para posteriormente elaborar un SIPOC. Esta herramienta permitió representar de forma general todo el flujo del proceso. En este caso, el SIPOC abarcó desde la generación del acta de recepción del cliente hasta el registro de la instalación completada en el sistema ERP. (Ver tabla 2.1)

Tabla I. SIPOC del proceso de instalación

S	I	P	O	C
Suppliers	Inputs	Process	Outputs	Customers
Asesor de Servicio	Orden de servicio aprobada Vehículo revisado	Generar acta de recepción	vehículo recibido o rechazado	Cliente / Supervisor del taller
Supervisor de taller	Vehículo del cliente receptado Orden de servicio impresa Materiales para instalación	Asignar trabajo al técnico	Trabajo y materiales asignados al técnico de instalación	Técnicos de instalación
Técnico de instalación	Materiales Orden de servicio Acceso de los sistemas	Realizar Instalación y verificación	Servicio completado y verificado	Cliente / Supervisor del taller

Supervisor de taller	Servicio terminado y verificado	Realizar verificación final de la instalación	Orden de servicio revisada	Supervisor del taller
Técnicos de instalación	Instalación terminada aprobada	Registrar en el sistema el trabajo realizado	vehículo con el servicio requerido	Cliente

Nota: El SIPOC del proceso nos ayudó a entender los factores del estado actual del proceso

2.1.2 Voz del Cliente (VOC)

Con el propósito de conocer las expectativas, percepciones y necesidades de las partes interesadas, se realizaron entrevistas semiestructuradas al Gerente de Operaciones, Jefe de Sistemas Integrados de Gestión, Supervisor de Taller, Asesor de Servicios, Técnicos de Instalación y Técnicos de Programación.

Jefe de Operaciones e Investigación

Falta de trazabilidad del proceso en tiempo real. !

Quiero saber cuántos vehículos atendimos, cuanto demoramos y que porcentaje tuvo errores

Cada error en el proceso implica tiempo, reputación y dinero.

El cliente no debería ser el que nos diga que su dispositivo no está reportando posterior al servicio !

There are no clear performance indicators.

Los tiempos prometidos al cliente deben ser realistas y cumplidos por taller. !

Gerente del Sistema de Gestión Integrados

Actualmente, existen múltiples nombres comerciales para los mismos servicios. !

Resulta difícil analizar los indicadores operativos debido a que los artículos se listan con diferentes nombres.

Cada tipo de trabajo requiere un tiempo de finalización diferente, dependiendo del tipo de dispositivo instalado y los accesorios adicionales necesarios. !

La desinstalación relacionada con los servicios de alquiler consume una cantidad significativa de tiempo de los técnicos de instalación y no aporta valor.

Las devoluciones de productos y la desinstalación de equipos tienen un impacto negativo en los tiempos totales de instalación, aumentando la carga de trabajo y reduciendo la eficiencia de los técnicos. !

Supervisor de talleres

Dependemos del stock de la bodega !

Sería bueno contar con un sistema que priorice y organice las asignaciones automáticamente. !

Actualmente, una instalación o chequeo toma 2-3 horas, aunque podría realizarse en 1 hora y media. !

Quiero que los técnicos sean más autónomos en la verificación de los dispositivos. !

Necesitamos flujo constante de trabajo

No hay señal visual que indique al técnico cuándo un vehículo está listo para despacho

El sistema no muestra lo disponible en bodega y no se sabe cuánto va a despachar bodega

Los técnicos no tienen acceso a los sistemas AMI para la verificación de dispositivos de monitoreo

Algunos de los técnicos no tienen claridad sobre qué dato usar como Vehicle ID (VID).

Asesor de Servicios

Solo los supervisores pueden visualizar el chequeo inicial !

Si el técnico encuentra alguna novedad, debe acercarse a consultarme para verificar si ese problema ya estaba registrado en el chequeo inicial !

En ocasiones llegan muchos vehículos y no tengo espacio para moverlos

Debo estar preguntando qué vehículo está listo para moverlo al patio de recepción. !

El patio de recepción se satura y no puedo mover los autos !

El sistema se pone lento cuando subo foto por foto, prefiero hacer un collage aparte.

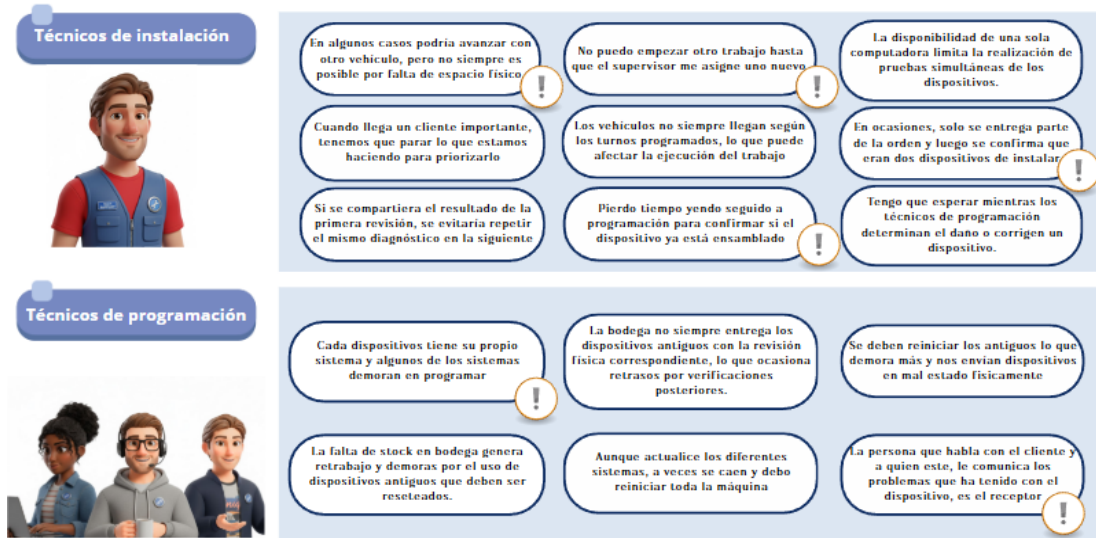


Figura I. Voice Of Customers – Autoría propia

2.1.3 Diagrama de Afinidad

Los hallazgos obtenidos del VOC fueron analizados mediante un Diagrama de Afinidad, que permitió organizar las observaciones. Se identificaron tres conductores principales de mejora: Flujo Operacional, Satisfacción del Cliente y Capacidad Operativa. (Ver figura II)

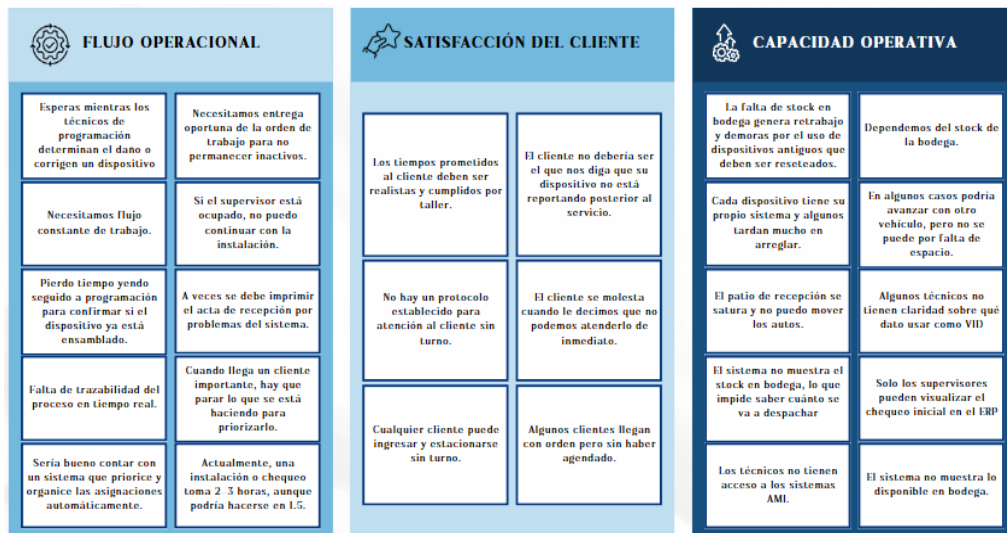


Figura I. Diagrama de Afinidad

2.1.4 Árbol Crítico de Calidad

Posteriormente, se elaboró un Árbol Crítico de la Calidad para convertir los hallazgos del Diagrama de Afinidad en indicadores cuantificables. Esta herramienta permitió definir los aspectos

críticos de cada conductor y establecer medidas objetivas de desempeño para las siguientes fases del proyecto.

2.1.5 Variable de respuesta

A partir del análisis realizado en las etapas anteriores, se seleccionó como variable de respuesta principal al indicador “Tiempo de ciclo de instalación”, entendido como la duración completa del proceso desde la generación del acta de recepción del vehículo **hasta el** registro final del servicio en el sistema ERP.

En conjunto con el cliente, y considerando el requerimiento de contar con **mayor trazabilidad del proceso**, se definió que el tiempo total de ciclo debía desagregarse en cinco subprocesos operativos:

- **X1:** Tiempo desde que el cliente firma la recepción hasta que el asesor lleva el vehículo dentro del taller.
- **X2:** Tiempo que transcurre desde que el vehículo ingresa al taller hasta que el supervisor asigna el trabajo y entrega la orden de servicio y materiales al técnico.
- **X3:** Tiempo efectivo que el técnico dedica a la instalación del dispositivo.
- **X4:** Tiempo desde que el técnico llama al supervisor para la verificación final hasta la aprobación y el reensamble del área del vehículo intervenida.
- **X5:** Tiempo desde que se aprueba la verificación hasta que el técnico o supervisor registra el trabajo como finalizado en el sistema.

Con ello, la variable de respuesta se calculó mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 1 Variable de respuesta

$$\text{Tiempo total de ciclo de instalación por vehículo} = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5$$

2.1.6 Serie de tiempo

Con el propósito de visualizar el comportamiento histórico de la variable, se graficaron los tiempos promedio de instalación correspondientes a las últimas 17 semanas, comprendidas entre junio y septiembre de 2025. Los resultados evidenciaron un promedio general de 206 minutos por instalación, alcanzando un mínimo de 150 minutos durante las semanas 13 y 14, lo que reflejaba una brecha de 86 minutos.

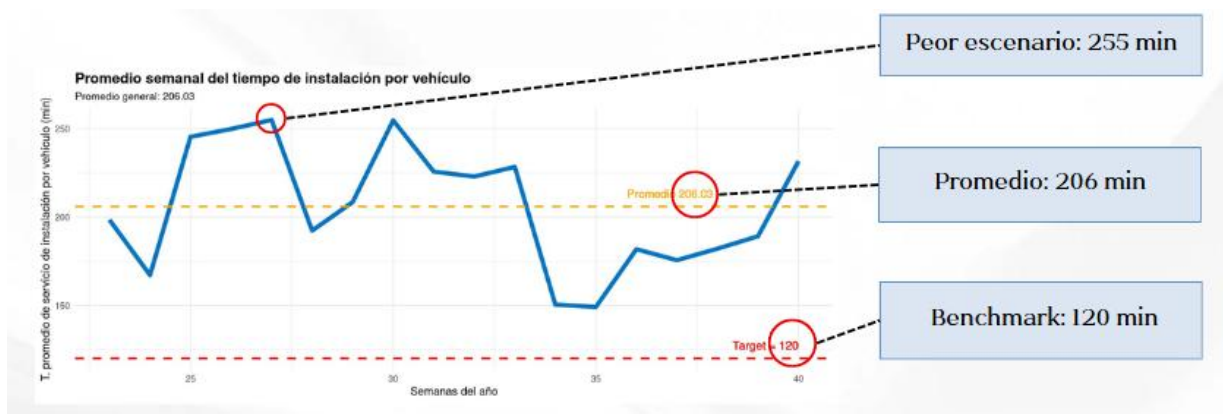


Figura III. Serie de tiempo

Tras realizar el análisis de la serie de tiempo, se definió que el objetivo del proyecto es reducir el tiempo total de servicio a 160 minutos por vehículo, valor que corresponde al tiempo técnico ideal establecido por la empresa.

2.1.7 Definición del problema

Para la definición del problema se utilizó la metodología **3W2H**, que permitió estructurar y describir de forma clara la situación identificada en el proceso.

El problema definido fue el siguiente:

Desde junio de 2025, el taller de instalación de dispositivos tecnológicos para vehículos registró un aumento en el tiempo total de ciclo por instalación por vehículo, alcanzando un promedio de 206 minutos por unidad. Este valor superaba significativamente el tiempo técnico ideal establecido por la empresa, de 160 minutos por vehículo, lo que evidenciaba una disminución en la eficiencia operativa del proceso de instalación.

2.1.8 *Objetivos de Desarrollo Sostenible*

El proyecto contribuye a tres Objetivos de Desarrollo Sostenible: al ODS 8, mediante la mejora de las condiciones laborales y el incremento de la productividad; al ODS 9, a través del fortalecimiento de la innovación operativa y la eficiencia del taller; y al ODS 12, promoviendo el uso responsable de los recursos y la reducción de residuos tecnológicos.

2.1.9 *Triple Línea Base*

El proyecto integra indicadores económicos, sociales y ambientales para asegurar un desarrollo equilibrado y sostenible.

Dimensión Económica

- ❖ **Meta:** Incrementar el ingreso mensual del taller.
- ❖ **Indicador:** Ingresos promedio mensuales por servicio.

Ecuación 2 Fórmula del indicador económico

$$\frac{\text{Ingresos totales del mes}}{\text{N}^{\circ} \text{ total de servicios realizados}}$$

Dimensión social

- ❖ **Meta:** Aumentar el cumplimiento de los tiempos pactados con los clientes.
- ❖ **Indicador:** Índice de cumplimiento de tiempo pactado.

Ecuación 3 Fórmula del indicador social

$$\frac{\text{N}^{\circ} \text{ servicios entregados a tiempo}}{\text{N}^{\circ} \text{ total de servicios}} \times 100$$

Dimensión Ambiental

- ❖ **Meta:** Reducir la generación de desechos especiales.
- ❖ **Indicador:** Índice de generación de residuos especiales.

Ecuación 4 Fórmula del indicador Ambiental

$$\frac{\text{Peso total de desechos especiales en el semestre}}{\text{N}^{\circ} \text{ total servicios realizados en el semestre}}$$

2.1.10 Mapeo del proceso

Se llevó a cabo el mapeo del proceso en estudio y se elaboró el flujo correspondiente, tal como se presenta en las Figura 2.4, complementado con el resumen de actividades incluido en la Tabla 2.3.

El análisis permitió identificar varios cuellos de botella como dependencia del técnico respecto a la disponibilidad de accesorios y la aprobación del supervisor; equipos y espacio físico; falta de visibilidad de la información de la inspección inicial para el técnico; y acumulación de vehículos en la etapa de cierre por requerir autorización previa del supervisor. Asimismo, se identificaron fábricas ocultas, entre ellas la necesidad del supervisor de verificar constantemente el estado de los trabajos.

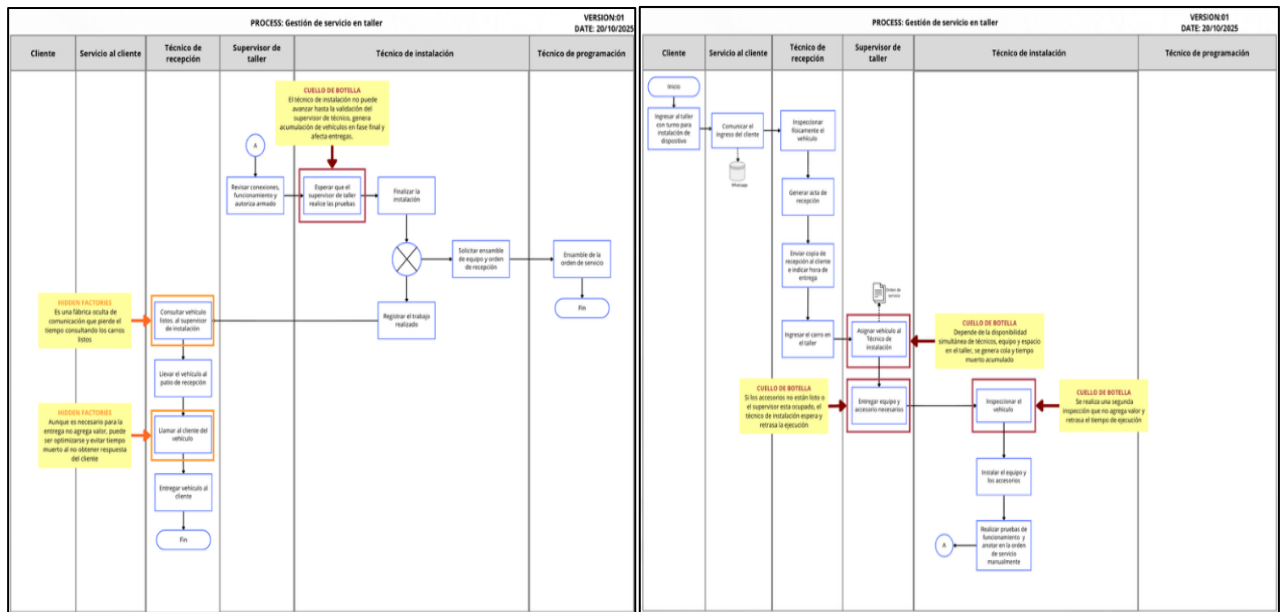


Figura IV. Flujo del proceso de instalación

Tabla II. Resumen del proceso de instalación

Resumen de actividades	
Actividades que agregan valor (AV)	8
Actividades que no agregan valor (NAV)	7
Actividades que no agregan valor, pero son necesarias (NAVN)	6

2.2 Medición

Durante esta etapa del proyecto, se midió el proceso y se estratificaron los datos, identificando los parámetros clave que afectan directamente al problema.

2.2.1 Esquema de muestreo

Para garantizar que la medición cronometrada del tiempo de ciclo de instalación fuera estadísticamente representativa, se diseñó un esquema de muestreo secuencial, utilizando como base los primeros 15 tiempos reales recolectados en campo.

A partir de estos datos iniciales se determinó:

Nivel de confianza: **95%**

Error máximo permitido: **11 minutos**

Desviación estándar preliminar: **29,81 min**

Valor Z para $\alpha/2 = -1,96$

Al aplicar la fórmula basada en la distribución t-Student, se evidenció que el tamaño apropiado era 31 instalaciones para garantizar precisión suficiente.

2.2.2 Plan de recolección de datos

Se recolectaron datos del sistema de la empresa sujeta a este estudio, desde el 28 de octubre hasta el 17 de noviembre de 2025, para cada una de las variables definidas en el plan de recolección de datos. Asimismo, se tomaron tiempos directamente en el taller para cada una de estas variables, con el fin de verificar la consistencia de los registros históricos y obtener información más detallada sobre las actividades que componen el proceso.

2.2.3 Validación de datos

Se realizó una comparación entre los tiempos de ciclo obtenidos mediante el estudio cronométrico en campo y los tiempos registrados por el sistema informático ERP de la empresa. Para esta primera validación se elaboró un histograma comparativo (ver figura 2.5) y se aplicó una prueba t de muestras pareadas. El análisis inicial se obtuvo un valor-p considerablemente pequeño,

por lo que se rechazó la hipótesis nula y se concluyó que existían diferencias estadísticamente significativas entre ambos métodos (ver figura 2.6).

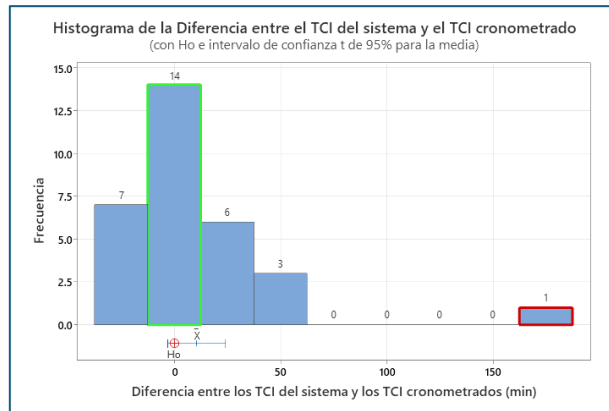


Figura V. Histograma de diferencia entre TCI sistema y TCI cronometrado

Prueba	
Hipótesis nula	$H_0: \text{diferencia}_\mu = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \text{diferencia}_\mu \neq 0$
<u>Valor T</u>	<u>Valor p</u>
2.73	0.011

Figura VI. Prueba test-t de diferencias entre TCI sistema y TCI cronometrado

A partir de este resultado, se evidenció que, se realizaba una modificación automática de las horas internas, generando inconsistencias en los tiempos exportados para análisis. Ante esta situación, se corrigió y repitieron tanto el histograma comparativo como la prueba t pareada. Bajo este ajuste, 27 de las 31 observaciones presentaron diferencias cercanas a cero, lo que confirmaba que los datos ajustados presentaban un nivel adecuado de exactitud.

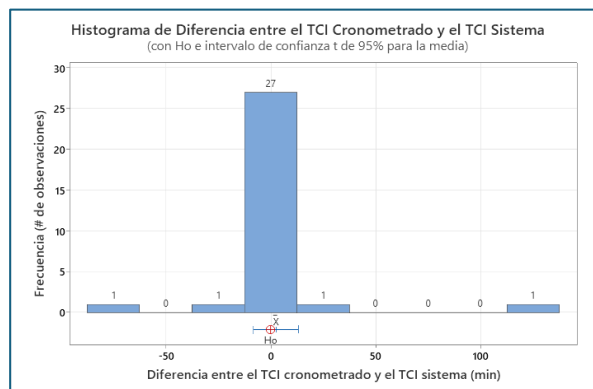


Figura VII. Histograma de diferencia entre TCI cronometrado y TCI sistema ajustado

Prueba	
Hipótesis nula	$H_0: \text{diferencia}_\mu = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \text{diferencia}_\mu \neq 0$
<u>Valor T</u>	<u>Valor p</u>
0.48	0.634

Figura VIII. Prueba t de diferencia entre TCI cronometrado y TCI sistema ajustado

2.2.4 Análisis de Confiabilidad de datos del Plan de Triple Resultado (TBL)

- Incremento del ingreso mensual**

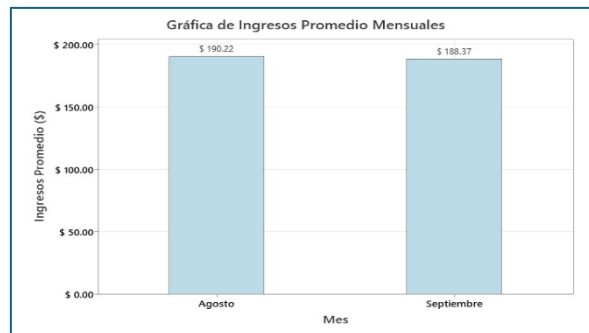


Figura IX. Gráfica de ingresos promedio mensuales

La comparación gráfica del ingreso promedio por servicio entre agosto y septiembre mostró valores muy similares, sin variaciones abruptas ni atípicas. Esto confirmó la consistencia del indicador económico y validó la confiabilidad de los datos utilizados.

- Cumplimiento de tiempos pactados con el cliente**

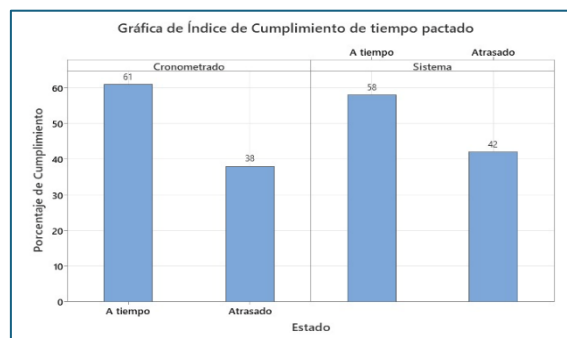


Figura X. Gráfica de índice de cumplimiento de tiempo pactado

La comparación del porcentaje de cumplimiento entre el registro del sistema y el estudio cronometrado mostró proporciones similares de servicios completados “a tiempo” y “con retraso”. No se observaron variaciones significativas entre ambos métodos de medición, lo que confirmó la consistencia de la información reportada.

- **Generación de desechos especiales por servicios realizados en el semestre**

El indicador ambiental es medido por una empresa externa certificada y especializada en la gestión de residuos. Esta entidad realiza el pesaje, clasificación y registro conforme a la normativa ambiental vigente. El certificado emitido constituye evidencia formal de la veracidad y confiabilidad de los datos.

2.2.5 Análisis de Distribución de la Variable de Decisión (Y)

Para comprobar si los tiempos de ciclo de instalación (Y) podían analizarse con métodos que requieren normalidad, se aplicó la prueba Ryan-Joiner y se examinó la siguiente Figura 2.11.

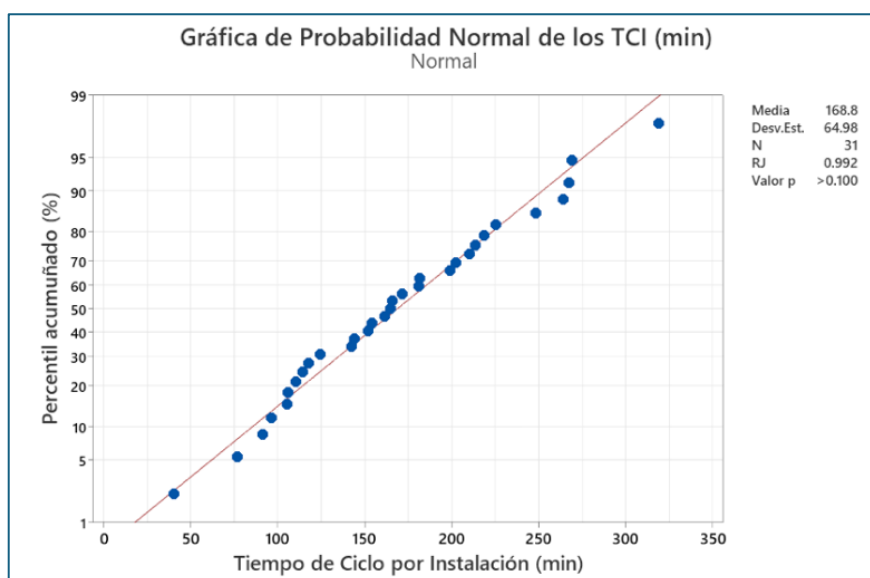


Figura XI. Gráfica de probabilidad normal de los TCI (min)

Los resultados indicaron que no existe evidencia para rechazar la normalidad. Los puntos de la gráfica se alinearon sobre la recta teórica, confirmando que el tiempo de ciclo de instalación presenta una distribución normal.

2.2.6 Análisis descriptivo de la variable de respuesta (TCI)

Una vez validada la confiabilidad del sistema de medición para la variable de respuesta, se procedió a realizar el análisis estadístico descriptivo del Tiempo de Ciclo de Instalación, con un total de 31 observaciones. Este análisis permitió identificar el comportamiento general de la variable en términos de tendencia central, dispersión y forma de la distribución.

Los principales resultados se presentan a continuación:

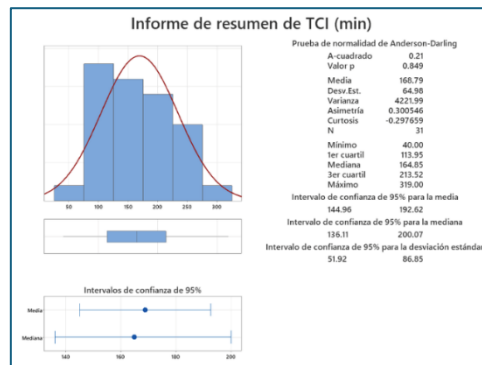


Figura XII. Informe de resumen de TCI (min)

El análisis descriptivo mostró que la media y mediana son similares, lo que indica una distribución simétrica y sin valores extremos relevantes. Aunque la desviación estándar fue elevada, lo cual evidencia variabilidad en el proceso.

2.2.7 Estratificación: Análisis descriptivo por tipos de dispositivos

Comprobada la normalidad de la Y, se realizó un análisis descriptivo por tipo de instalación (Monitoreo, Rastreo y Monitoreo + Rastreo) para determinar si existían diferencias significativas que justificaran estratificarlas.

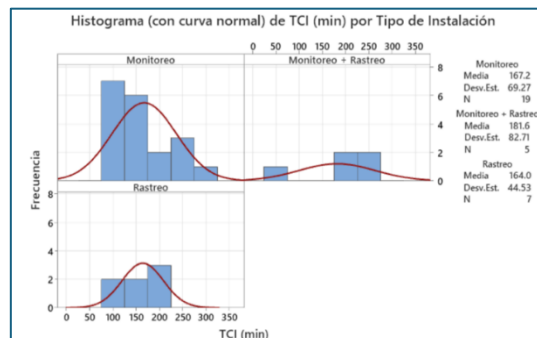


Figura XIII. Histograma de TCI (min) por tipo de instalación

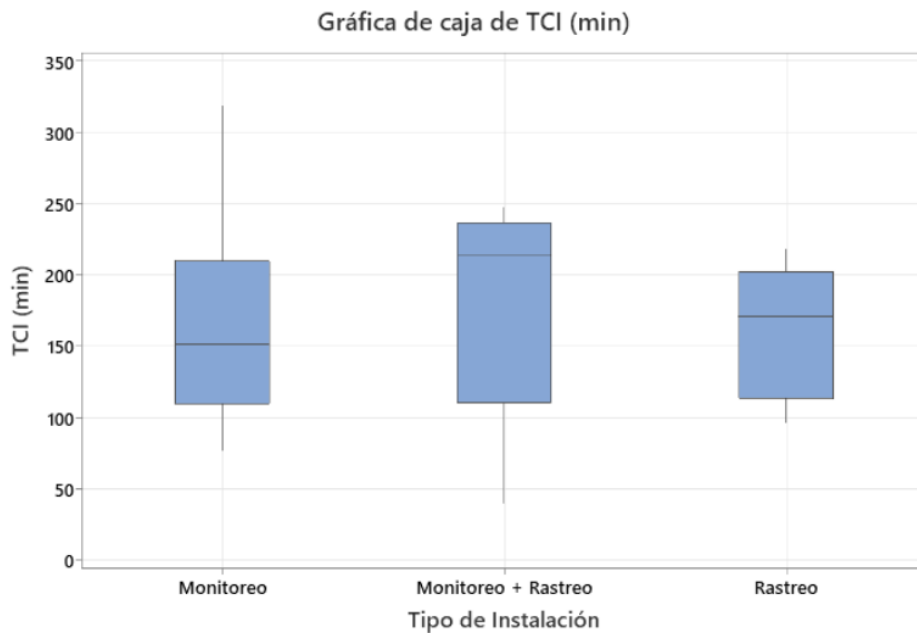


Figura XIV. Gráfica de caja de TCI (min)

Se evidenció en la dispersión de los histogramas y gráficos de cajas que las diferencias internas dentro de cada tipo de instalación son más significativas que las diferencias entre tipos de servicio.

Debido al tamaño y diferencia de los tipos de dispositivos en la muestra, se complementó el estudio con la prueba Kruskal-Wallis para confirmar si las medianas de los tres grupos diferían de manera estadísticamente significativa.

Prueba

Hipótesis nula H_0 : Todas las medianas son iguales

Hipótesis alterna H_1 : Al menos una mediana es diferente

GL	Valor H	Valor p
2	0.99	0.610

Figura XV. Prueba Kruskal-Wallis

Los resultados indicaron que no existe evidencia para rechazar la igualdad de medianas. Con ello, se validó que el tipo de instalación no era un factor determinante en la variabilidad observada, orientando el análisis hacia las fases internas del proceso.

2.2.8 Estratificación: Análisis descriptivo por variables independientes

Se realizó el análisis descriptivo de las variables independientes del proceso donde se evidenciaron diferencias importantes en su contribución a la variabilidad del Tiempo de ciclo de instalación.

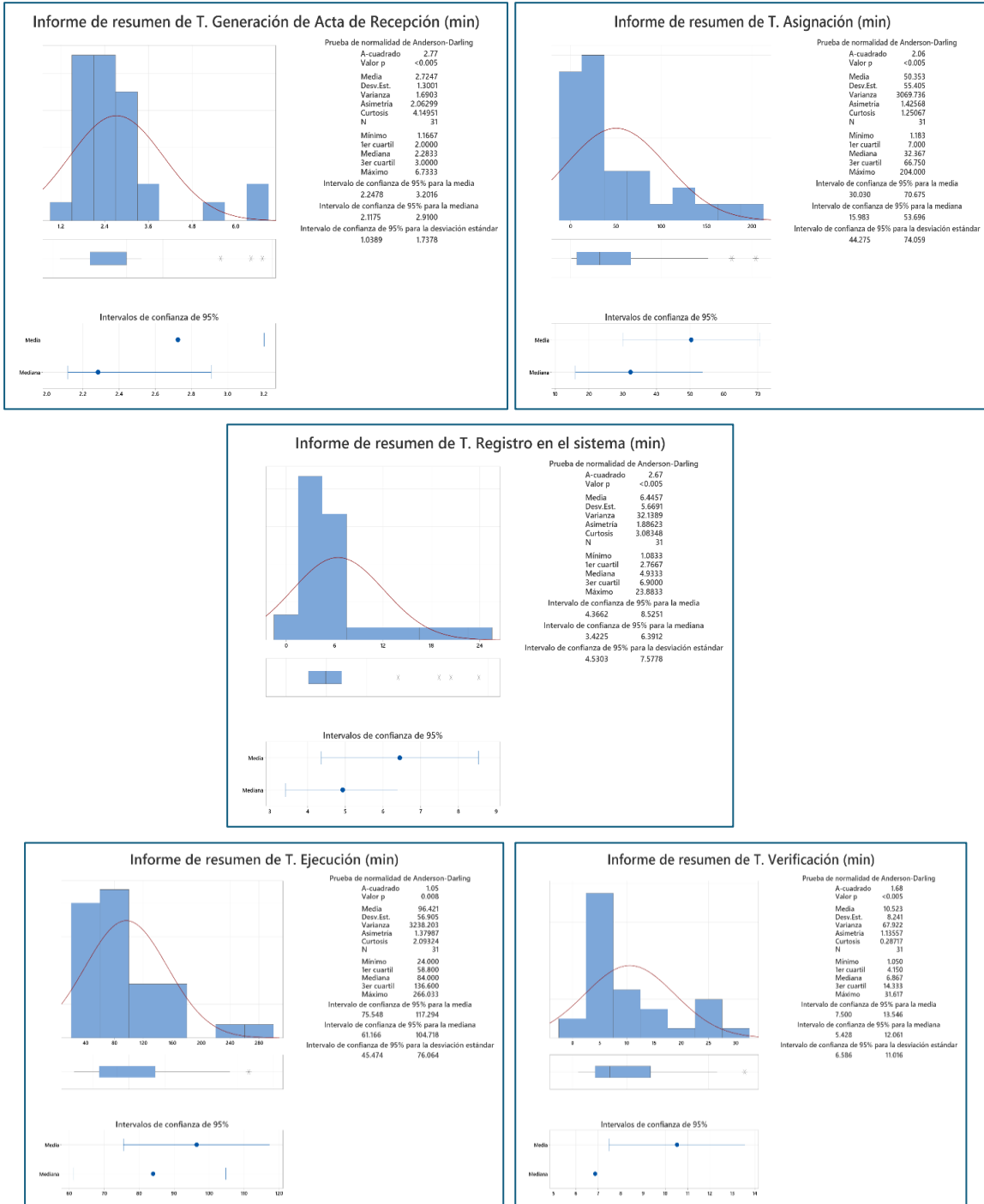


Figura XVI. Informe de resumen de las variables de TCI

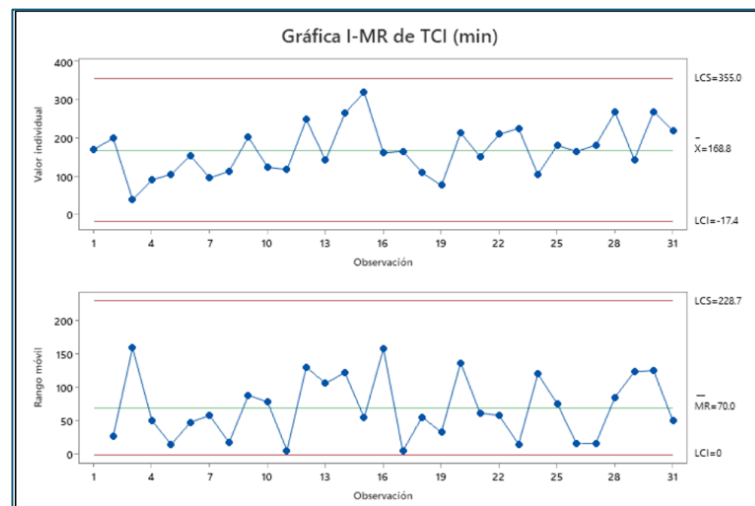
Tabla III. Resumen de las variables de TCI

Fase	Interpretación
Generación de acta de recepción	Fase estable y estandarizada, no aportó variabilidad relevante al proceso
Asignación	Fase inestable, presentó esperas prolongadas y congestión operacional
Ejecución	Fase más crítica y más tiempo concentró del proceso total
Verificación final	Mostró inconsistencias entre vehículos, con diferencias notorias en los tiempos
Registro en el sistema	Fase generalmente rápida, pero afectada por incidencias puntuales

Las fases que más variabilidad aportaron al tiempo de ciclo de instalación fueron Asignación y Ejecución, debido a su alta dispersión, valores atípicos y diferencias marcadas entre vehículos, por lo cual, se identificaron como prioritarias para los próximos análisis.

2.2.9 Análisis de estabilidad del Tiempo de Ciclo de Instalación

Se realizó un análisis de estabilidad del proceso, que obtuvo como resultado la siguiente Figura 2.17.

**Figura XVII.** Gráfica I-MR de TCI (min)

La gráfica mostró que todas las observaciones del proceso se mantuvieron dentro de los límites de control, por lo que el proceso se consideró estadísticamente estable. Sin embargo, se observó una variabilidad considerable. El rango móvil presentó valores elevados, lo que reflejó saltos bruscos entre observaciones consecutivas.

2.2.10 Análisis de capacidad del Tiempo de Ciclo de Instalación

Sé realizo un análisis de capacidad del proceso, que obtuvo como resultado la siguiente

Figura 2.18.

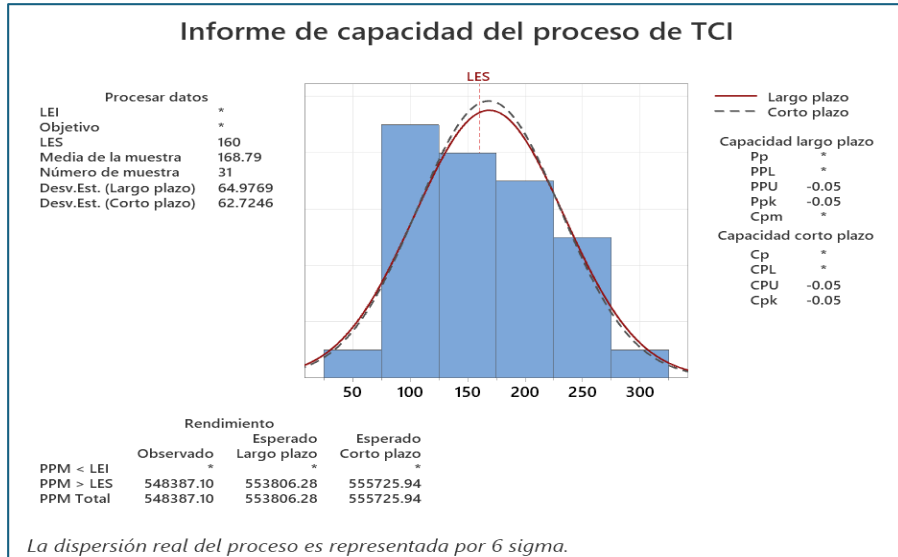


Figura XVIII. Informe de capacidad del proceso de CTI

La gráfica evidenció que aproximadamente el 55% de las instalaciones superaron el límite de 160 minutos, por lo que solo cerca del 45% cumplió con el tiempo establecido. Esto confirma que, bajo las condiciones actuales, el proceso no era capaz de cumplir consistentemente con la especificación y requería mejoras para reducir su variabilidad.

2.3 Análisis

Durante esta fase, en conjunto con las partes interesadas, se verificaron y encontraron las causas potenciales y sus causas raíz de la variable de decisión.

2.3.1 Diagrama Ishikawa

Con base en la información recopilada en la reunión con los actores del proceso, se elaboró el diagrama de Ishikawa, estructurado en seis categorías: mano de obra, medición, materiales, máquinas, método y medio ambiente, como se muestra en la Figura 2.5.



Figura XIX. Diagrama Ishikawa – Autoría propia

2.3.2 Matriz causa-efecto

Las causas identificadas en el diagrama de Ishikawa se trasladaron a la matriz causa-efecto, donde se evaluó el impacto de cada causa sobre el efecto mediante una calificación basada en la escala definida en la Tabla 2.4.

Tabla IV. Resumen del proceso de instalación

Criterio	
0	No importante / No afecta
1	Baja importancia / Leve impacto
3	Importancia moderada / Impacto moderado
9	Alta importancia/ Impacto Fuerte

No	Variable X	Asesor de Servicio	Supervisor de Operaciones	Técnicos de Instalación	Técnico de programación	Total
Mano de Obra						
1	Tiempo muerto por consultas al asesor sobre la primera verificación del vehículo.	1	9	9	0	19
2	Tiempo muerto en consultas del estado del vehículo dentro del taller o tiempo estimado del servicio para informar	9	9	1	0	19
3	Diferencias en la destreza y velocidad entre técnicos.	1	9	9	0	19
4	Falta de experiencia en nuevos modelos de vehículos	1	9	9	0	19
5	El vehículo permanece en espera durante gran parte del proceso, desde su arribo hasta el cierre de la instalación	3	9	9	0	21
6	Técnicos detienen trabajo esperando aprobaciones del supervisor.	3	9	9	0	21
7	El equipo de recepción permite vehículos sin turno pre-asignado que alteran la secuencia del trabajo	9	9	3	0	21
Medición						
1	Ausencia de un tablero o sistema que muestre en tiempo real el progreso y estado de cada instalación.	0	9	9	0	18
2	Altos tiempos de vehículo en cola	0	9	3	0	12
3	No se mide el tiempo real invertido por técnico en cada orden de servicio	0	3	9	0	12
4	Inexistencia de indicadores sobre tiempos de espera por errores administrativos o retrabajos	0	9	9	0	18
Materiales						
1	Los técnicos comparten algunos insumos de trabajo	0	3	9	0	12
2	Ausencia de un sistema en taller donde se visualice el inventario disponible de bodega.	0	9	9	3	21
3	Retrasos por falta de dispositivos específicos para vehículos nuevos, eléctricos o híbridos.	0	9	9	0	18
Máquinas						
1	Falta de un espacio formal o registro compartido de experiencias técnicas en nuevos modelos de vehículos	0	3	9	0	12
2	ERP presenta fallas al registrar trabajos finalizados, retrasando cierres de órdenes.	0	9	9	9	27
3	Solo una computadora funcional para cinco técnicos, con frecuentes caídas de sistema o conexión	0	9	9	0	18
4	Ausencia de una herramienta visual o automatizada que permita asignar los vehículos a los técnicos y registrar	0	9	9	0	18
5	Ausencia de permisos para que el técnico de instalación consulte el estado de las órdenes	0	9	9	0	18
6	Los técnicos no tienen acceso a un registro digital o físico de la revisión inicial realizada por el asesor técnico	3	3	9	0	15
Método						
1	Dependencia de canales informales (correos y llamadas) sin tiempos de respuesta definidos.	0	9	3	1	13
2	La ausencia de un protocolo claro de validación entre SAC, Cobranzas y Taller provoca demoras y confusión a	0	9	3	0	12
3	Las verificaciones de la instalación del vehículo son verbales entre técnico y supervisor	0	9	9	0	18
4	Asignación de órdenes se retrasa por errores administrativos o falta de aprobación.	0	9	1	0	10
6	Falta de canales formales para coordinar con áreas relacionadas (bodega, programación, SAC).	3	9	9	3	24
7	Dependencia de cobertura de red de WI FI para validar reporte	0	9	3	9	21
Medio Ambiente						
1	Falta de señalización interna y orden visual para ubicación de vehículos y herramientas en taller.	9	9	3	0	21
2	Dependencia de aprobaciones de SAC, sobre cuando se debe actualizar la orden de servicio retrasa el flujo del	1	9	9	0	19
3	Espacio reducido para maniobras de ingreso y salida de vehículo en taller.	9	9	3	0	21
4	Distancia de la bodega al taller provoca desplazamientos innecesarios al necesitar dispositivos urgentes.	0	9	9	0	18

Figura XX. Diagrama de causa y efecto – Autoría propia

Con los resultados obtenidos, se realizó un diagrama de pareto, como se muestra en la Figura 2.21, y se obtuvo las causas principales que equivalen al 80% del impacto total en el aumento del tiempo del servicio de instalación según los actores del proceso, las causas 16, 25, 5, 6, 7, 13, 27, 29, 1, 17, 13, 22, 8, 24, 8.

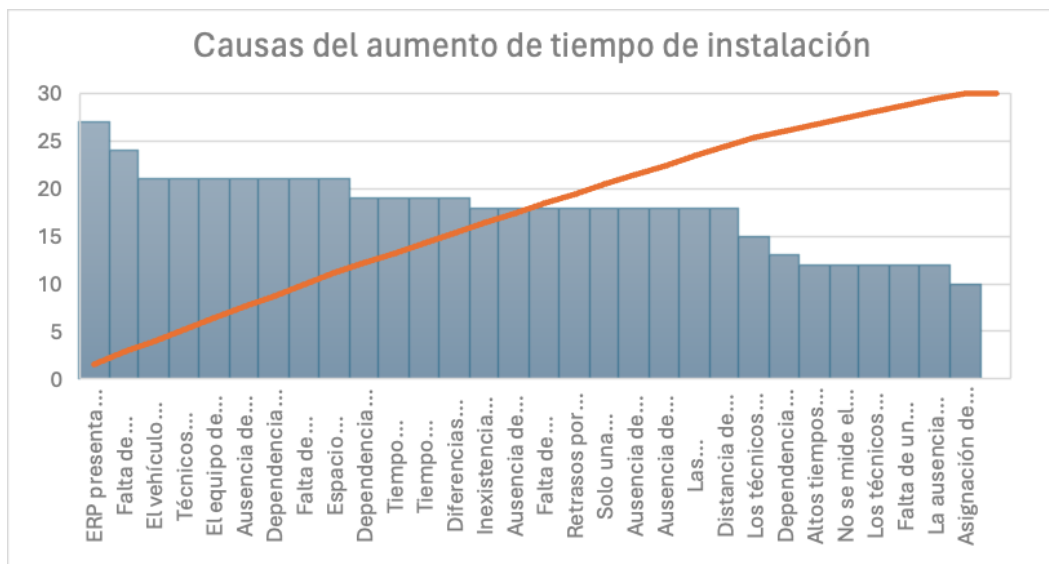


Figura XXI. Gráfica de causas del aumento de tiempo de instalación

2.3.3 Matriz impacto-esfuerzo

Con las causas identificadas en el diagrama de Pareto, se aplicó la matriz impacto-esfuerzo y se seleccionaron aquellas de alto impacto y bajo esfuerzo, resultando cuatro causas principales. Ver Figura 2.22.

Tabla V. Tabla de causas potenciales

Xs	Causas Potenciales
X11	ERP presenta fallas al registrar trabajos finalizados
X12	Falta de canales formales para coordinar con áreas relacionadas
X13	El vehículo permanece en espera durante gran parte del proceso, desde su arribo hasta el cierre de la instalación
X14	Técnicos detienen trabajo esperando aprobaciones
X15	El equipo de recepción permite vehículos sin turno preasignado que alteran la secuencia del trabajo
X16	Ausencia de un sistema en taller donde se visualice el inventario disponible de bodega
X17	Falta de señalización interna y orden visual para ubicación de vehículos y herramientas en taller
X18	Espacio reducido para maniobras de ingreso y salida de vehículo en taller
X19	Tiempo muerto por consultas al asesor sobre la primera verificación del vehículo
X20	Solo una computadora funcional para cinco técnicos
X21	Las verificaciones de la instalación del vehículo son verbales entre técnico y supervisor
X22	La ausencia de un protocolo claro de validación entre SAC, cobranza y taller
X23	Asignación de órdenes se retrasa por errores administrativos
X24	Ausencia de un tablero o sistema que muestre el tiempo real del progreso y estado de cada instalación
X25	Falta de política ágil del preensamble de los dispositivos.

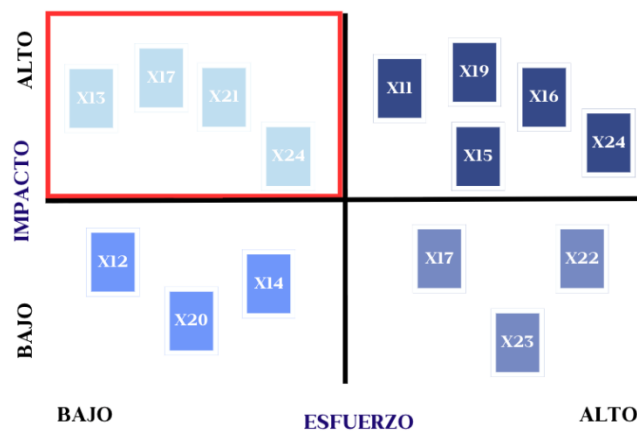


Figura XXII. Matriz de impacto y esfuerzo

2.3.4 Plan de verificación de causas

Se elaboró el plan de verificación de las cuatros causas seleccionadas en el cuadrante de alto impacto y bajo esfuerzo. Dentro del plan de verificación se definió la teoría de impacto y cómo se verificarán las causas potenciales. (Ver tabla 2.6).

Tabla VI. Tabla del Plan de verificación de causas

Causas potenciales	Impacto X→Y (Teoría del impacto)	¿Cómo verificarlo?
El vehículo permanece en espera durante gran parte del proceso, desde su arribo hasta el cierre de la instalación	A lo largo del flujo, el vehículo acumula tiempos de espera no productivos. Mientras más tiempo el vehículo permanece estacionado sin intervención, mayor es el tiempo total de ciclo.	Tomar los tiempos en que el vehículo se queda en espera antes de ser asignado.
Falta de organización interna y orden visual	La falta de orden provoca desplazamientos innecesarios, búsqueda de herramientas y reubicación de vehículos, que incrementa los tiempos de movimientos y espera	Elaborar un diagrama espagueti para demostrar rutas innecesarias y en conjunto de evidencias.
Ausencia de tablero o sistema que muestre el tiempo real del proceso	La falta de visibilidad del tiempo real provoca que los técnicos y supervisores no detecten retrasos a tiempo y no se visualice el tiempo real.	Realizar entrevistas a técnicos y supervisores donde se consulte qué etapa les toma mayor tiempo. Comparar tiempos reales vs tiempos estándar para ver brechas.

Nota: Las causas fueron verificadas con la toma de tiempo y datos históricos compartidos por la empresa

2.3.5 Verificación de Causas

- **El vehículo permanece en espera durante gran parte del proceso**

Para la validación de la causa, se utilizaron los 31 datos recopilados para obtener el tiempo de espera del vehículo en actividades no productivas para realizar el análisis estadístico como se muestra en la siguiente Figura 2.23.

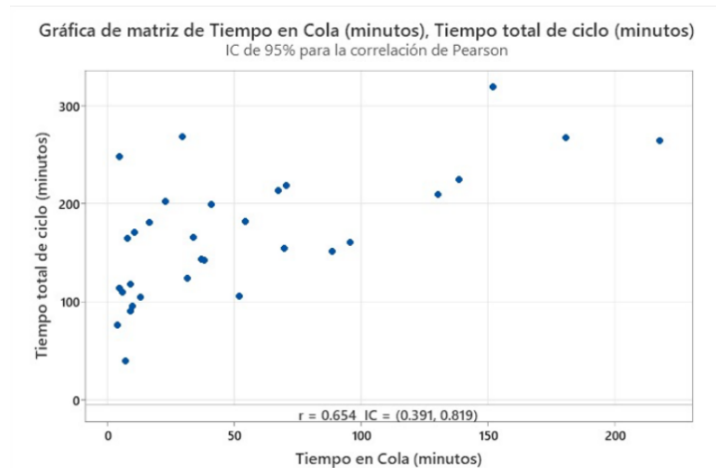


Figura XXIII. Plan de verificación de causas

El análisis estadístico mostró que el tiempo de espera del vehículo presentó una correlación positiva con el tiempo total de ciclo. Aproximadamente el 43% de la variación del tiempo de ciclo se explicó por el tiempo que el vehículo permaneció en espera.

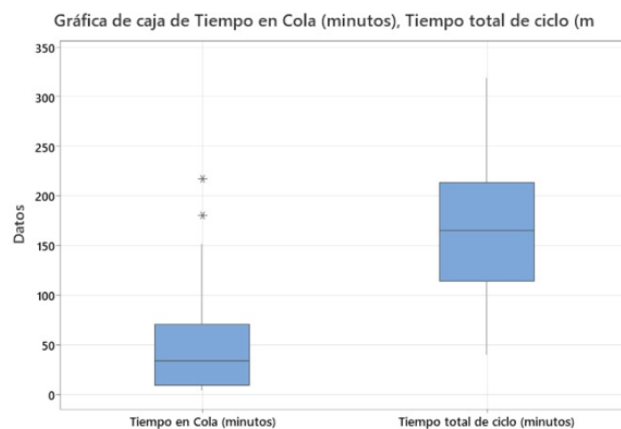


Figura XXIV. Gráfica de caja de tiempo en cola y tiempo total de ciclo

Además, la distribución del tiempo en espera mostró una alta dispersión y presencia de valores atípicos, lo que confirmó que las esperas constituyeron una de las principales fuentes de variabilidad del proceso de instalación.

- **Falta de organización interna y visual en el taller**

El análisis Gemba de esta causa, se realizó con un diagrama espagueti que mostró la ausencia de señalización interna y un orden visual.

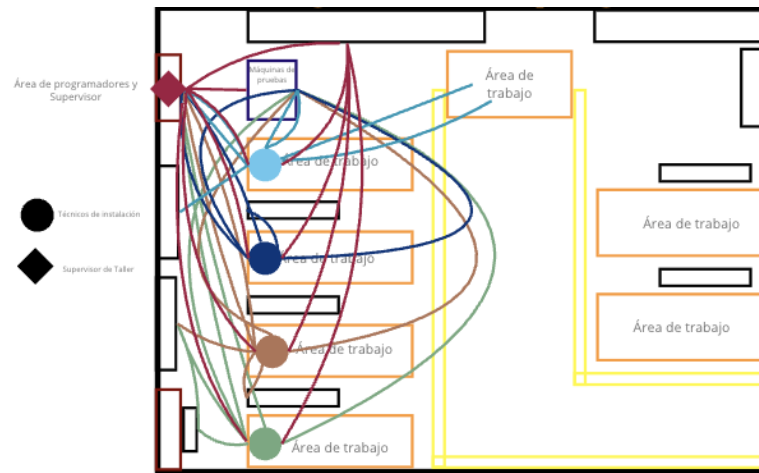


Figura XXV. Diagrama espagueti

El diagrama evidenció recorridos extensos y repetitivos por parte del técnico y supervisor hasta diferentes áreas, lo cual aumentó el tiempo invertido en búsqueda y traslado, afectando la eficiencia operativa.

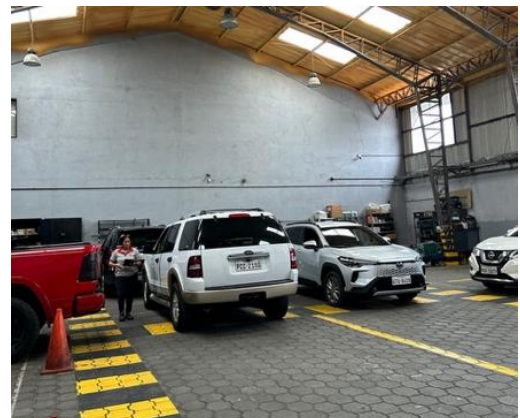


Figura XXVI. Fotos del área de trabajo (Taller)

Las fotografías del área confirmaron la falta de demarcaciones claras y de un flujo visual ordenado.

- **Falta de visibilidad del estado del proceso en tiempo real**

Al revisar la muestra de 31 instalaciones, se observó que 21 instalaciones superaron el tiempo estándar de 160 min. Durante de las entrevistas, se identificó que los técnicos y supervisores no tenían visibilidad del tiempo transcurrido ni del momento en que se excedía la duración esperada. Asimismo, los mandos altos manifestaron preocupación por no conocer en qué fase ocurrían los retrasos ni qué actor los provocaba.

La ausencia de un sistema visual obligó a depender de consultas verbales, lo que generó pérdida de información y falta de control.

2.3.6 Causas raíz

Para cada una de las causas identificadas, se aplicó la metodología de los 5 Por qué? Con el fin de determinar sus causas raíz. Este análisis permitió comprender los factores estructurales que originaron los retrasos y la variabilidad del tiempo de ciclo de instalación. A continuación, se presentan las causas raíz obtenidas para cada causa priorizada.

Tabla VII. Tabla de causa raíz

Causas	Causa raíz identificada
El vehículo permanece en espera durante gran parte del proceso	Falta de control del flujo de la cola, lo que provoca largos periodos de espera entre etapas.
Falta de organización interna y visual en el taller	El diseño interno del taller nunca fue actualizado conforme el taller creció y reorganizó el espacio.
Falta de visibilidad del estado del proceso en tiempo real	Falta de un diseño de proceso basado en datos, lo que resulta en ausencia de etapas definidas o puntos de control de tiempo.

2.4 Mejora

En esta etapa, se propuso soluciones y se definió el análisis de implementación y financiero para aquellas que fueron seleccionadas.

2.4.1 Posible Soluciones

Las siguientes soluciones fueron las seleccionadas por la empresa cliente según los criterios de impacto-esfuerzo.

Tabla VIII. Tabla de Posibles soluciones

Causas	Posible soluciones
Vehículo permanece en espera durante gran parte del proceso	Establecer un sistema pull para ingreso de vehículos y política diferida
Falta de organización interna y visual en el taller	Optimizar el Layout y el flujo – técnico
Falta de visibilidad del estado del proceso en tiempo real	Desarrollo de una aplicación prototipo para registro y trazabilidad de instalación

2.4.2 Plan de Implementación

Para la implementación de las soluciones se desarrolló un plan de implementación, el cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla IX. Tabla de costos de implementación de las soluciones

Solución	Cuándo	Por qué	Cómo	Dónde
1. Optimizar el layout y el flujo técnico–supervisor mediante señalización visual	Semana 1–2: Rediseño del layout e implementación de señalización.	Reducir desplazamientos, disminuir tiempos muertos e identificar claramente el estado de cada vehículo.	Reubicar estaciones clave, definir bahías por estado, instalar señalización visual básica y capacitar al personal en el nuevo flujo.	Taller
2. Establecer un sistema pull para ingreso de vehículos listos y política diferida	Semana 2–3: Implementar checklist, capacitar al equipo y ejecutar piloto inmediato.	Evitar congestión, asegurar preparación previa y permitir flujo continuo cuando el supervisor no esté disponible.	Definir requisitos previos, asignar técnico antes del ingreso, asegurar disponibilidad de dispositivos, usar checklist y aplicar política de avance diferido.	Recepción y área de Supervisores
3. Digitalizar la trazabilidad mediante prototipo en Power Apps	Semana 3–4: Levantamiento de requerimientos, desarrollo del prototipo, pruebas y entrega final.	Eliminar registros manuales, centralizar información y crear un modelo funcional para futura integración en ERP.	Diseñar pantallas esenciales, desarrollar formularios y flujos básicos, probar con técnicos/supervisores y documentar el prototipo.	Plataforma Power Apps

2.4.3 Análisis Económico

Asimismo, se calcularon los costos necesarios para la implementación de las tres soluciones, los que cuales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla X. Tabla de plan de implementación

Solución	Costo asociados	Subtotal	Total
1. Optimizar del layout del taller	Pintura Epóxica para los pisos del taller	\$250	\$420
	Reubicación de áreas de trabajo y limpieza profunda	\$50	
	Mano de obra por persona, 2 días	\$120	
2. Establecer un sistema pull para ingreso de vehículos listos y política diferida	Licencia Power apps por usuario mensualmente	\$20	\$275
	Capacitaciones al equipo operativo y seguimiento	\$75	
	Tablet adicional por unidad	\$180	
3. Digitalizar la trazabilidad mediante prototipo en Power Apps	Capacitaciones al equipo operativo y seguimiento	\$75	\$75
	Ajuste del proceso	\$0	

2.4.4 Implementación

2.4.4.1 Solución 1. Optimizar del layout del taller

Para la gestión de esta solución, se diseñó y evaluó un nuevo layout del taller con el objetivo de reducir desplazamientos innecesarios y mejorar el flujo operativo. (Ver imagen 2.27).

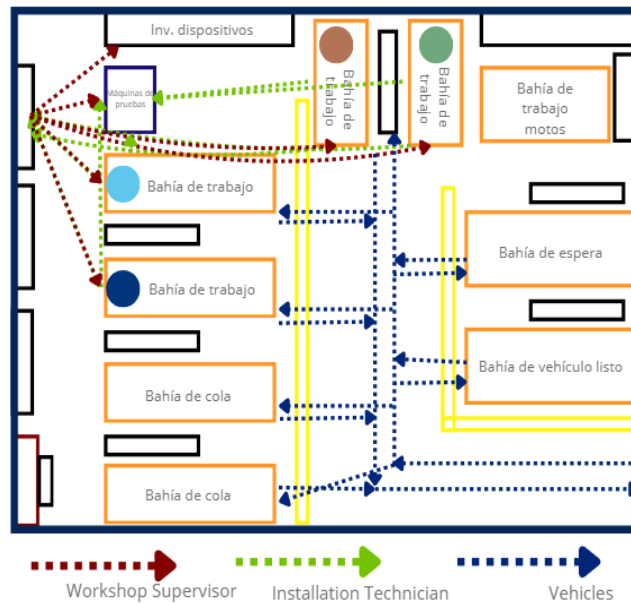


Figura XXVII. Diagrama de espaguete del layout propuesto

La propuesta seleccionada por el cliente fue simulada en FlexSim utilizando datos históricos de las órdenes de servicio, tiempos de proceso y tiempos entre arribo de los 2 últimos meses. Se construyeron los escenarios Antes y Después y se implementaron dashboards comparativos para analizar el impacto del rediseño sobre el flujo, la utilización de recursos y el tiempo de ciclo de instalación, como insumo para la toma de decisiones antes de la implementación física.

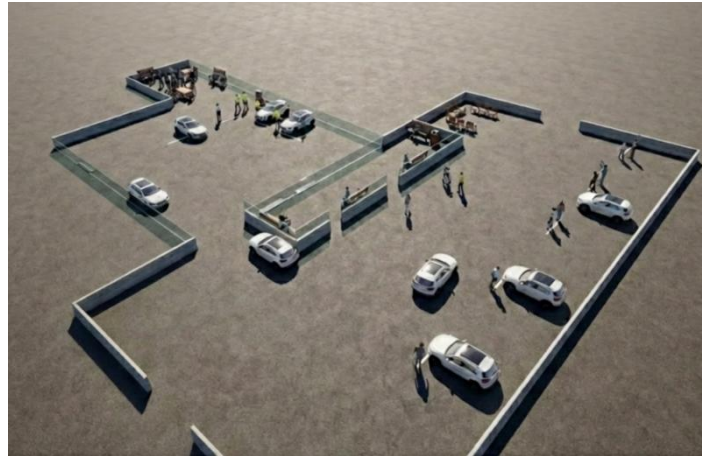


Figura XXVIII. Simulación del Layout Mejorado

2.4.4.2 Solución 2. Implementación de un sistema Pull con política de avance diferida

Se implementó un sistema Pull de ingreso al taller mediante la definición y documentación de una metodología formal que restringe el ingreso de vehículos hasta cumplir tres criterios obligatorios: turno previo generado, disponibilidad de un técnico y disponibilidad del dispositivo a instalar. Esta política fue incorporada en la aplicación de trazabilidad, donde la asesora valida los requisitos antes de autorizar el ingreso al proceso. (Ver figura 2. 29).

Prevalidación de Orden de Servicio

¡Bienvenida Angie, registra los vehículos que cumplan con los requisitos!

Orden de Servicio:

Ingresar el Orden de Servicio

Vehículo con Turno previo No

Técnico disponible No

Dispositivo listo en taller No

Prevalidación incompleta

Visualizar disponibilidad de técnicos

Observaciones:

Seleccione el día y hora pactado con el cliente:

Guardar Prevalidación

Cerrar Sesión

Figura XXIX. Cumplimiento de política pull en la Aplicación

Adicionalmente, se estableció una política de avance diferida que permite al técnico continuar con el siguiente vehículo asignado en caso de presentarse una demora, evitando tiempos muertos. La implementación permitió prevenir interrupciones dentro del taller, estabilizar el flujo de trabajo y reducir el tiempo de ciclo de instalación.

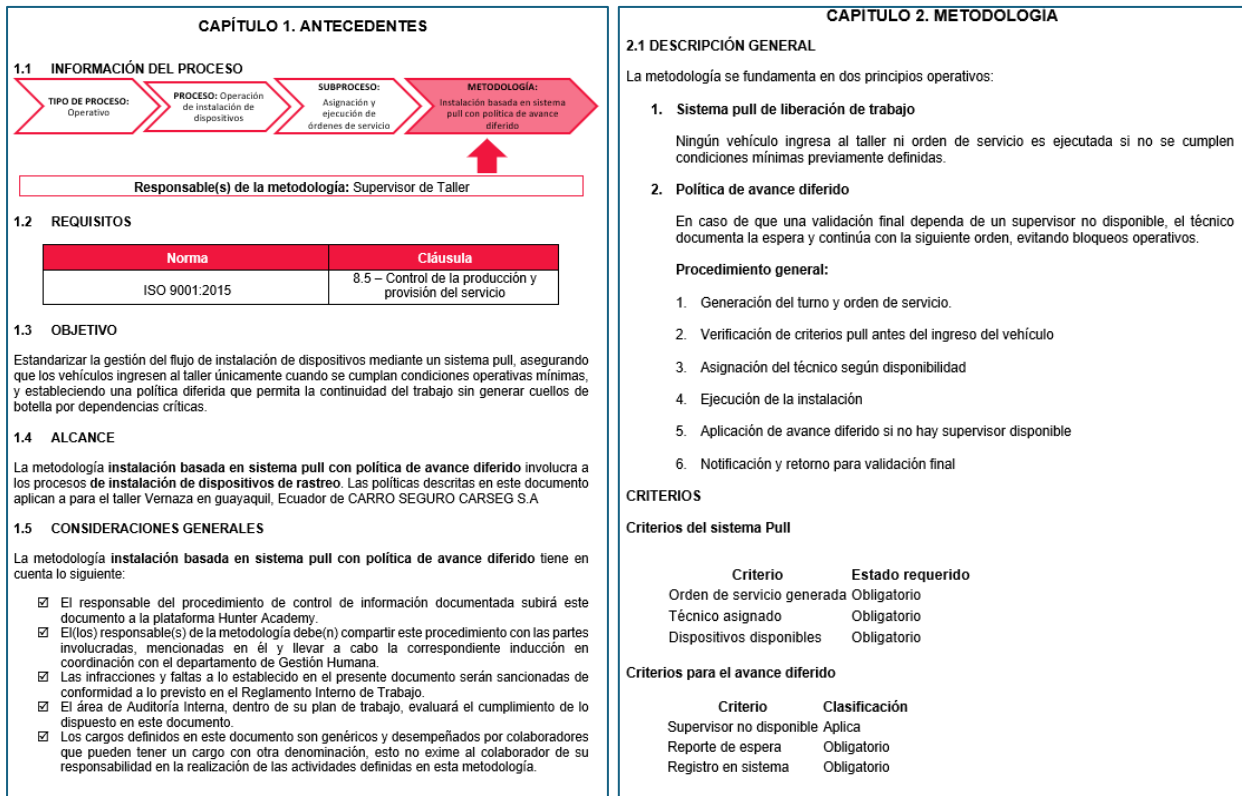


Figura XXX. Metodología de instalación basada en sistema pull con política de avance diferida

2.4.4.3 Solución 3. Digitalizar la trazabilidad del proceso mediante una plataforma centralizada.

Se desarrolló una plataforma digital para la trazabilidad del proceso de instalación mediante la identificación de los puntos críticos de control, la definición de los datos por rol y la estandarización de estados y criterios de cambio. Se diseñó el flujo digital del proceso, los perfiles de usuario, el modelo de datos y las pantallas interactivas, incorporando flujos automáticos e integración con bases de datos de prueba. La solución fue validada mediante pruebas funcionales y ajustes iterativos.

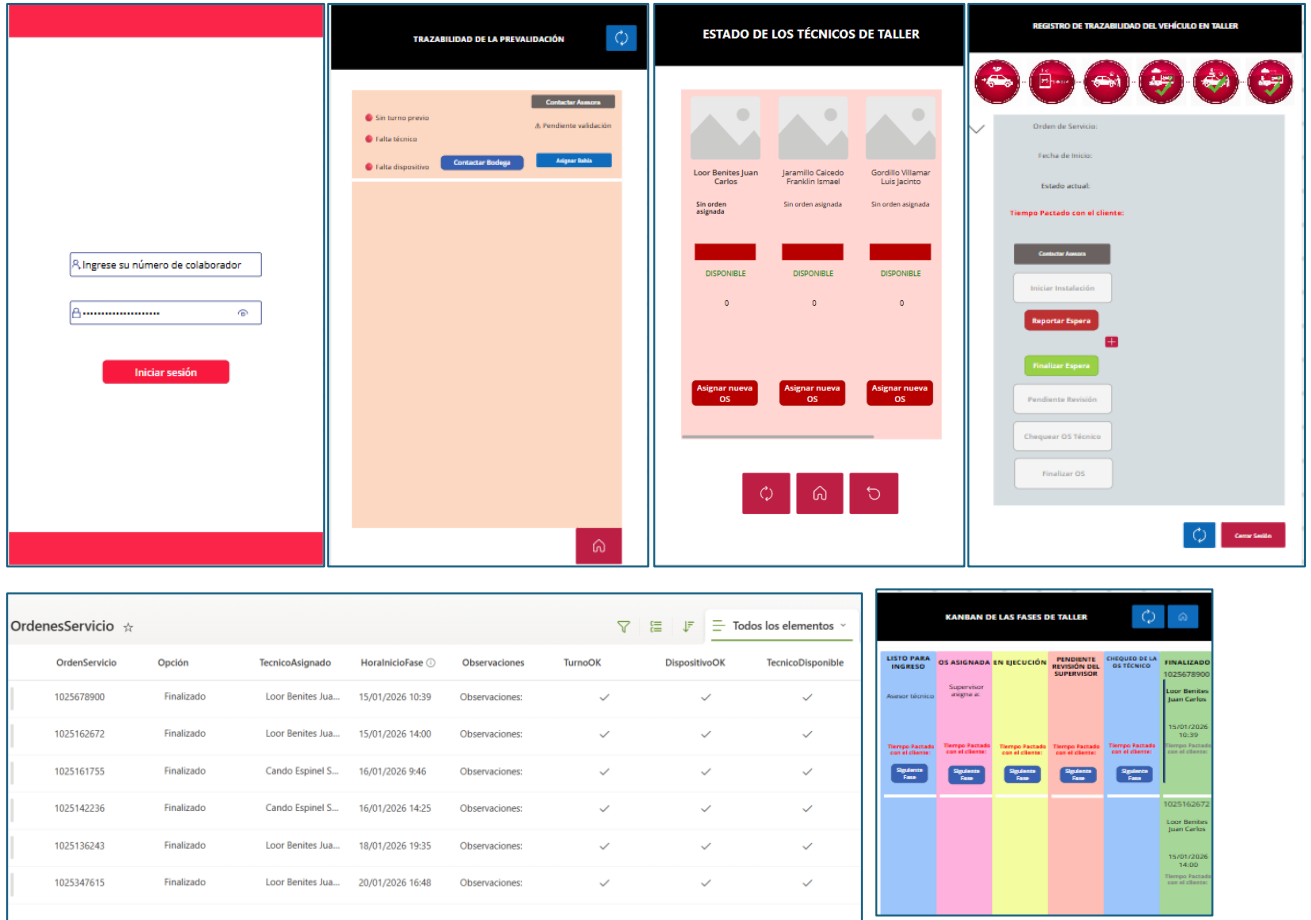


Figura XXXI. Pantallas del usuario del Supervisor de Taller

Capítulo 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos tras la simulación del nuevo layout y de la implementación del sistema Pull y plataforma de trazabilidad, correspondientes a la etapa de Control de la metodología DMAIC.

3.1 Resultados de la simulación de la solución 1

La comparación entre los escenarios “Antes” y “Después” mostró una reducción aproximada del 24% en la distancia recorrida por los técnicos, un incremento del throughput cercano al 8% y una mejor distribución de la carga de trabajo, evidenciando una mejora directa en la eficiencia y en el tiempo de ciclo de instalación (Ver imágenes 2.31 y 2.32).

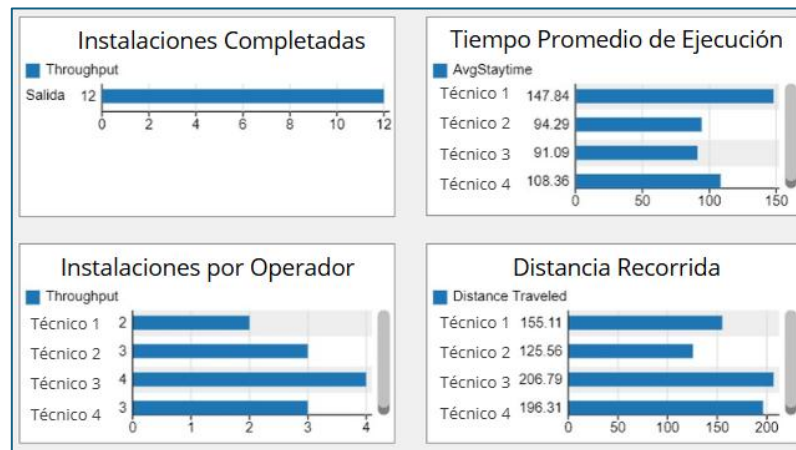


Figura XXXII Resultados "antes de la simulación"

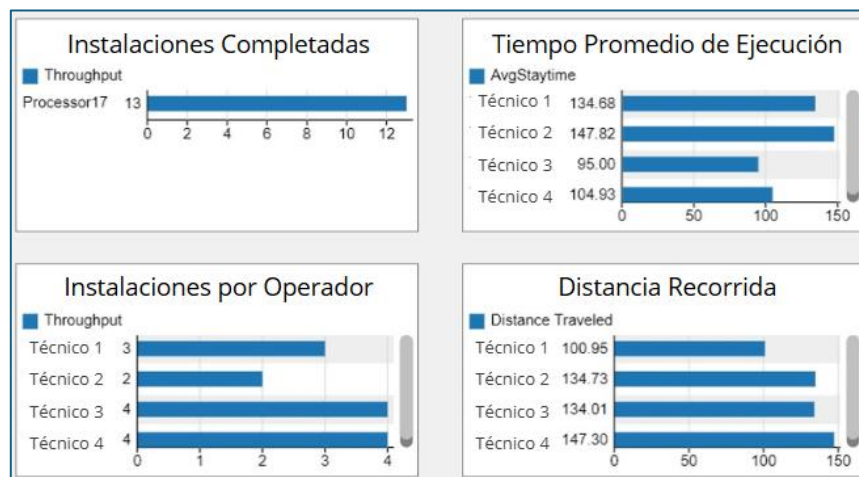


Figura XXXIII Resultados "después de la simulación"

El incremento del throughput indica que el nuevo layout mejora la capacidad del sistema para completar instalaciones en el mismo horizonte de tiempo. La reducción en la distancia recorrida por los técnicos sugiere una mejora en el flujo físico y una disminución de desplazamientos innecesarios, lo que contribuye a un uso más eficiente del tiempo productivo. Adicionalmente, la redistribución de las instalaciones entre operadores refleja un balance más homogéneo de la carga de trabajo. En conjunto, estos resultados confirman que el rediseño del layout tiene un impacto positivo en la eficiencia del proceso y en el tiempo de ciclo de instalación.

3.2 Resultados de la implementación de la solución 2 y 3

En esta etapa se evaluó el desempeño del proceso luego de la implementación conjunta de las soluciones 2 y 3, así como la estabilidad y capacidad del tiempo de ciclo de instalación. Para ello, se recopilaron nuevas observaciones bajo condiciones similares a las iniciales y se aplicaron herramientas estadísticas para validar la efectividad de las mejoras.

3.2.1 Comparación del tiempo de ciclo antes y después de la implementación

Se comprobó la normalidad de los datos del tiempo de ciclo de instalación antes y después de la implementación mediante una prueba de normalidad, confirmando que ambas muestras seguían una distribución normal. Posteriormente, se aplicó una prueba t pareada para evaluar si existía una diferencia significativa entre las medias. Para esto, se definieron las siguientes hipótesis.

H₀: La media del tiempo de ciclo antes de la mejora es igual a la media después de la mejora.

H₁: La media del tiempo de ciclo antes de la mejora es mayor que la media después de la mejora.

El valor p obtenido fue menor a 0.05, por lo que se rechazó la hipótesis nula y se concluyó que la reducción del tiempo de ciclo fue estadísticamente significativa. (ver imagen xx)

Prueba		
Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 > 0$	
Valor T	GL	Valor p
4.65	50	0.000

Figura XXXIV Resultado de la prueba de hipótesis

En la Figura X se presentan las estadísticas descriptivas, donde se observa que la media del tiempo de ciclo disminuyó de 168.79 minutos antes de la implementación a 104.79 minutos después de la mejora. El diagrama de cajas correspondiente se muestra en la Figura xx, evidenciando una reducción clara en la dispersión central del proceso.

Estadísticas descriptivas				
Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
TCI antes implementación (min)	31	168.8	65.0	12
TCI después Implementación (min)	31	104.8	40.6	7.3

Figura XXXV Estadística descriptiva del TCI

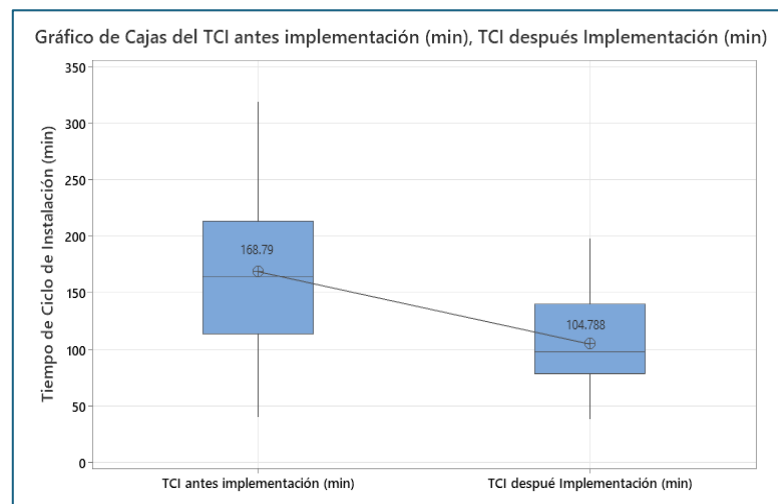


Figura XXXVI Gráfico de cajas del TCI antes y después de la implementación

3.2.2 Análisis de Capacidad

En el análisis de capacidad, se observó que antes de la implementación la media del proceso se encontraba por encima del límite superior de especificación, lo que evidenciaba un proceso no capaz de cumplir consistentemente con los requisitos establecidos. Tras la implementación, la nueva media se ubicó en 104.79 minutos, por debajo del límite superior (ver imagen xx). No obstante, el proceso aún presenta una alta variabilidad, por lo que se recomienda reforzar acciones de estandarización y control para mejorar la estabilidad y asegurar la sostenibilidad de la mejora.

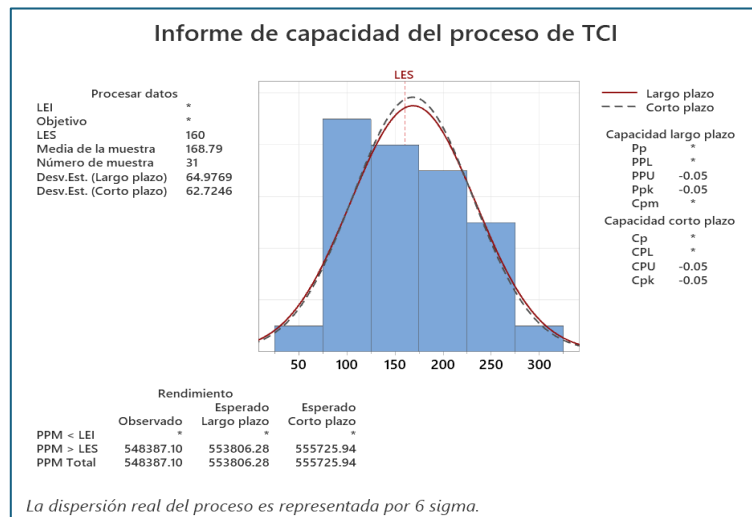


Figura XXXVII Análisis de capacidad antes de la implementación

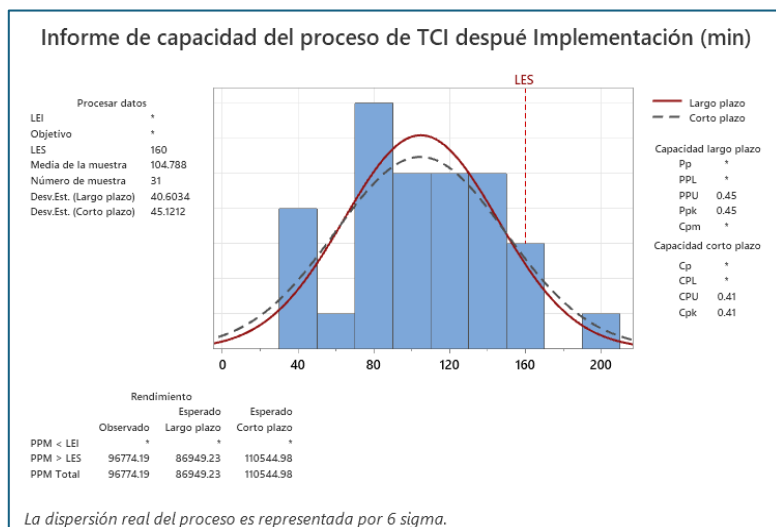


Figura XXXVIII Análisis de capacidad luego de la implementación

3.2.3 Análisis por estratificación de fases del proceso

Con el fin de identificar en qué etapa del proceso se generó el mayor impacto, se realizó una estratificación del tiempo de ciclo en las fases de Asignación y Ejecución, utilizando gráficos de cajas antes y después de la implementación.

Los resultados muestran que la mayor reducción se produjo en la fase de Asignación, cuya media disminuyó de 50.07 minutos antes de la implementación a 6.94 minutos después de la mejora, como se observa en la Figura xx. Este resultado evidencia que la digitalización de la trazabilidad y la metodología Pull tuvieron un efecto directo en la eliminación de tiempos de espera y demoras asociadas a la asignación de técnicos, siendo esta fase el principal contribuyente a la reducción global del tiempo de ciclo.

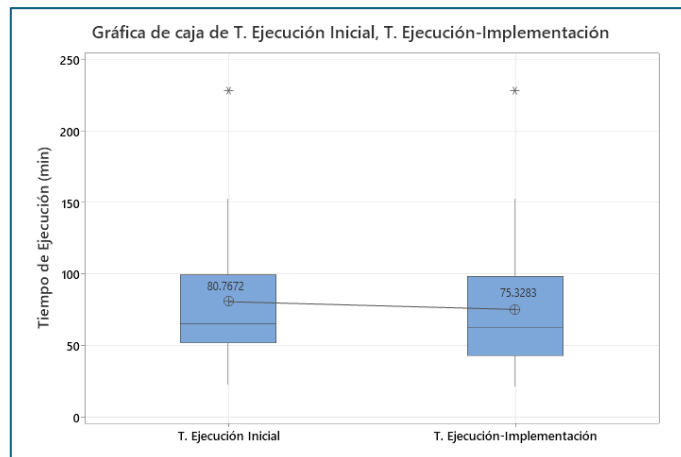


Figura XXXIX. Gráfico de cajas comparativo del tiempo de ejecución

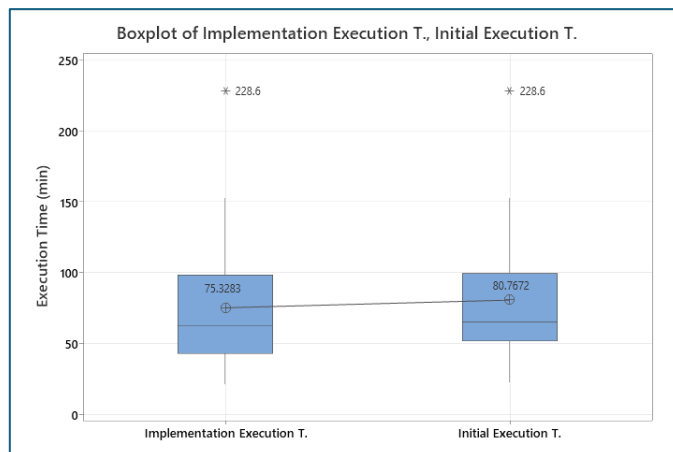


Figura XL. Gráfico de cajas comparativo del tiempo de asignación

En conjunto, los resultados obtenidos confirman que la implementación integrada de las tres soluciones propuestas generó una mejora significativa en el desempeño del proceso de instalación. La simulación del nuevo layout permitió validar, en un entorno controlado, el impacto positivo del rediseño sobre el flujo y la utilización de recursos. Por su parte, la implementación del sistema Pull y de la plataforma de trazabilidad produjo una reducción estadísticamente significativa del tiempo de ciclo, confirmada mediante prueba de hipótesis, análisis de capacidad y estratificación por fases, identificando a la etapa de Asignación como el principal factor de mejora.

3.3 Indicadores de la Triple Línea Base posterior a la implementación de soluciones

En esta sección se evalúa el impacto global de la implementación de las tres soluciones propuestas desde las dimensiones económica, social y ambiental, utilizando indicadores cuantitativos antes y después de la mejora. Dado que los resultados provienen de una simulación (Solución 1) y de una única implementación integrada (Soluciones 2 y 3), el análisis se realiza de forma descriptiva y comparativa.

3.3.1 Impacto económico

En la dimensión económica, el ingreso mensual promedio pasó de USD 51,302 a USD 82,716, lo que representa un incremento del 61.2%. Este resultado se explica por la reducción significativa del tiempo de ciclo de instalación, que permitió aumentar la capacidad efectiva del taller sin incrementar recursos adicionales. De esta manera, el aumento de la productividad se tradujo directamente en un mayor volumen de servicios facturados y, por ende, en un mayor ingreso mensual.

3.3.2 Impacto Social

En la dimensión social, el índice de cumplimiento del tiempo de servicio mejoró de 84% a 93%, correspondiente a una mejora relativa del 10.7%. Esta mejora refleja una mayor confiabilidad del proceso y una disminución de los retrasos en la entrega del servicio al cliente.

La reducción del tiempo de ciclo permitió una mejor coordinación entre las fases del proceso, incrementando la puntualidad y la calidad percibida del servicio, lo cual impacta positivamente en la satisfacción del cliente y en las condiciones de trabajo del personal.

3.3.3 Impacto Ambiental

En la dimensión ambiental, la generación de residuos especiales se redujo de 150 kg a 93.44 kg, lo que equivale a una disminución del 37.7%. Esta reducción se asocia a una operación más eficiente, con menor reproceso, menor desperdicio de materiales y una ejecución más controlada de las actividades. Al aumentar la productividad del proceso, se optimizó el uso de insumos por instalación, disminuyendo la generación de residuos por unidad de servicio.

3.4 Plan de Control

Con el fin de asegurar la permanencia de las mejoras obtenidas con el proyecto, se estableció un plan de control orientado a monitorear y mantener el desempeño de los procesos intervenidos una vez concluida la etapa de implementación. En la **Tabla X.X** se presenta el plan de control correspondiente a las soluciones desarrolladas, donde se especifican las variables críticas del proceso, los mecanismos de control definidos, los límites establecidos, la frecuencia de seguimiento y las acciones correctivas a aplicar en caso de desviaciones.

3.4.1 Control 1. El vehículo se encuentra en el puesto correcto

Asociada a la causa “la falta de orden provoca desplazamientos innecesarios, búsqueda de herramientas y reubicación de vehículo” el plan de control garantiza que la asignación de bahías se realice de manera correcta antes del inicio de cada orden de trabajo. Este control se encuentra incorporado en la aplicación del proceso, la cual exige el registro de la bahía asignada como condición obligatoria para comenzar las actividades, evitando el uso incorrecto de los espacios de trabajo y asegurando el orden operativo del taller.

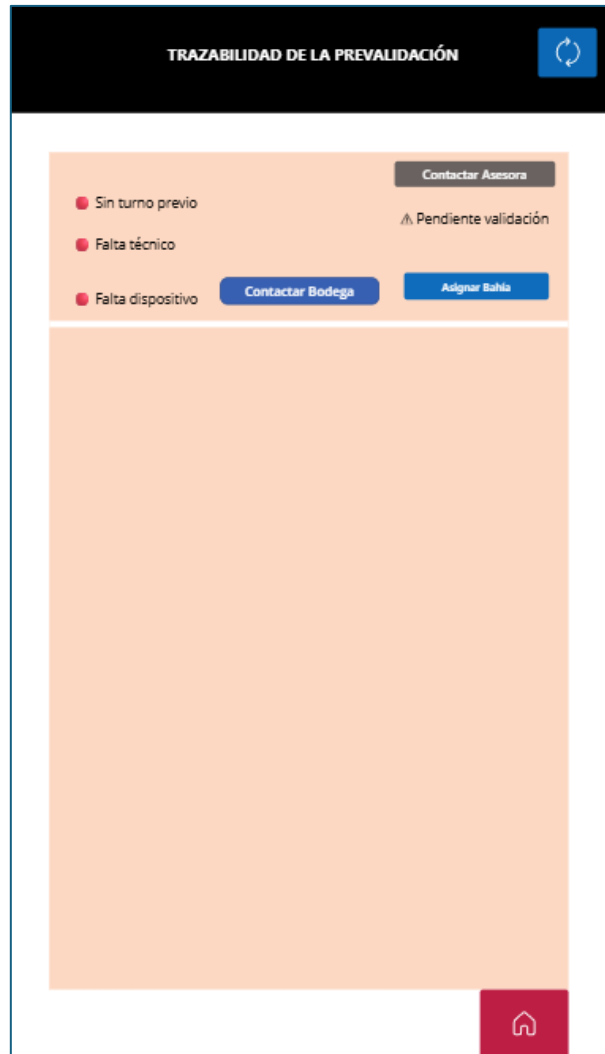


Figura XLI Control 1. El vehículo se encuentra en el puesto correcto

3.4.2 Control 2. Criterios de ingreso al taller

Asociado a la causa “a lo largo del flujo, el vehículo acumula tiempos de espera no productivos”. Se definieron controles tanto para los criterios de ingreso al taller como para el nivel de trabajo en proceso (WIP). El cumplimiento de los criterios de entrada es verificado en cada ingreso mediante el uso de un checklist digital obligatorio, permitiendo el acceso únicamente a los vehículos que cumplan con la totalidad de los requisitos establecidos. De igual forma, el nivel de WIP es controlado de forma periódica a través de un tablero visual por técnico, con un límite máximo definido que permite regular la carga de trabajo y mantener un flujo estable.

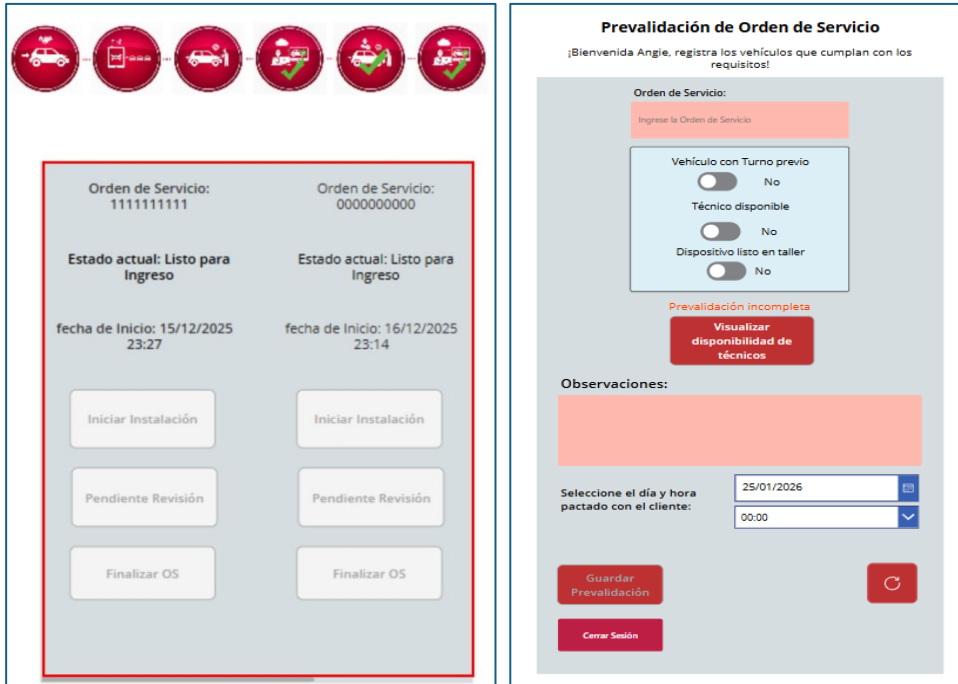


Figura XLII. Control 2. Criterios de ingreso al taller

3.4.3 Control 3, 4 y 5 Actualización continua del estado de las órdenes de trabajo

Asociada a la causa “la falta de visibilidad del tiempo real provoca que los técnicos y supervisores no detecten retrasos a tiempo”. El sistema restringe el avance del proceso y el cierre de las órdenes en ausencia de la actualización correspondiente y de la aprobación del supervisor, lo que permite mantener la visibilidad del proceso y asegurar el cumplimiento del flujo estándar.

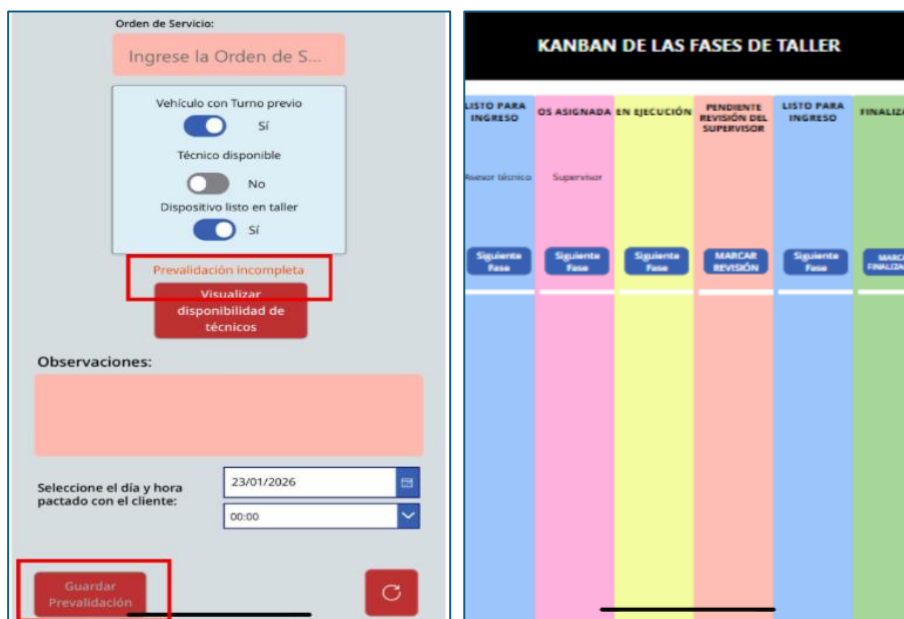


Figura XLIII. Control 3, 4 y 5 Actualización continua del estado de las órdenes de trabajo

Capítulo 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Tras la aplicación sistemática de las herramientas correspondientes a cada etapa de la metodología DMAIC, se obtienen las siguientes conclusiones principales:

- ✓ Se alcanzó el objetivo general del proyecto, logrando una reducción significativa del tiempo de ciclo de instalación, cuya media disminuyó de 168.79 minutos a 104.79 minutos, lo que representa una mejora superior a 46 minutos por instalación, como resultado directo de la optimización del flujo del proceso y del aumento de la eficiencia operativa del taller.
- ✓ Se identificaron, analizaron y validaron las causas raíz de mayor impacto asociadas a los retrasos del proceso, principalmente relacionadas con deficiencias en el control del flujo de trabajo, limitada visibilidad del estado de las órdenes de servicio y un layout del taller desalineado con las necesidades reales de la operación.
- ✓ La mayor proporción de tiempo improductivo y de variabilidad se concentró en las etapas de asignación, ejecución y verificación, debido a tiempos de espera elevados, ausencia de secuencias estandarizadas y mecanismos de coordinación predominantemente informales entre los diferentes roles del proceso.
- ✓ Se implementaron soluciones de mejora continua de manera integrada, incluyendo el rediseño del layout del taller, la adopción de un sistema pull de servicio y la digitalización de la trazabilidad del proceso, las cuales permitieron fortalecer la coordinación operativa, mejorar el control del flujo y reducir de forma sostenida los tiempos muertos.
- ✓ Se definieron e implementaron mecanismos de control para asegurar la sostenibilidad de las mejoras, tales como la estandarización de los estados del proceso, la incorporación de controles visuales, la definición de indicadores clave de desempeño

y el uso de una plataforma digital que permite monitorear en tiempo real el avance de las instalaciones y detectar desviaciones oportunamente.

4.2 Recomendaciones

- Mantener un sistema de control continuo basado en KPIS, que permita asegurar la sostenibilidad de las mejoras en el tiempo, aplicando un enfoque flexible durante la fase inicial de aprendizaje y avanzando progresivamente hacia la estandarización de los procesos.
- Implementar un programa de capacitación continua y refuerzo operativo, orientado a garantizar el uso correcto y consistente de las soluciones implementadas por parte del personal técnico y de supervisión.
- Ejecutar de manera integrada las tres soluciones propuestas, dado que su implementación conjunta genera un impacto significativamente mayor que su aplicación individual.
- Extender el enfoque de mejora a otros servicios del taller, utilizando sistemáticamente los datos generados para impulsar un proceso de mejora continua y toma de decisiones basada en evidencia.

5. REFERENCIAS

- George, M. L. (2002). En *Lean Six Sigma*. McGraw-Hill.
- Gupta, P. (2013). *Six Sigma Business Scorecard: Ensuring performance for profit*. McGraw-Hill.
- Heppelmann, M. E. (2014). Hoy Smart, Connected Products are Transforming Competition. *Harvard Business Review*, 12. Obtenido de https://eclass.aegean.gr/modules/document/file.php/TNEY202/HBR_How-Smart-Connected-Products-Are-Transforming-Competition%20copy.pdf
- Jerry Banks, J. S. (2005). *Discrete-Event System Simulation*. NEW JERSEY: Pearson prentice Hall.
- Laureani, A., & Antony, J. (2012). Critical success factors for the effective implementation of Lean Six Sigma. *International Journal of Lean Six Sigma*, 230-250.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way*. McGraw-Hill.
- Pande, P. S., Neuman, R. P., & Cavanagh, R. R. (2000). *The Six Sigma Way*. McGraw-Hill.
- Rifqi, M., Yuliani, D., & Syahputri, K. (2021). Lean Manufacturing Implementation through DMAIC Approach: A Case Study in the Automotive Industry. *OP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- Salonitis, K., & Tsinopoulos, C. (2016). Drivers and barriers of lean implementation in the Greek manufacturing sector. *Procedia CIRP*, 189-174.
- Shingō, S., & Dillon, A. P. (1989). A study of the Toyota production system: From an industrial engineering viewpoint. *Productivity Press*.
- Taiichi, O. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press.
- Telégrafo, E. (26 de septiembre de 2023). *El número de robos de carros y motos se duplicó en Ecuador, ¿Cómo combatir este delito?* Obtenido de El telégrafo el decano digital: <https://www.letelegrafo.com.ec/noticias/nacionales/44/en-tres-anos-el-numero-de-robos-de-vehiculos-y-motos-ha-subido-en-ecuador>
- Tomás Fontalvo Herrera, E. d. (Junio de 2018). *SCIELO*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-85632018000100047
- Womack, D. T. (2000). *lean thinking*.