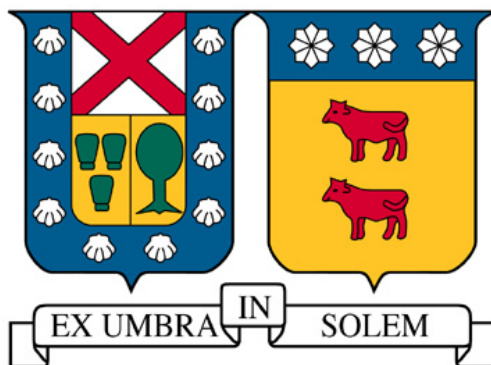


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
VALPARAISO – CHILE



MODELO DE DIGITALIZACIÓN Y ANALÍTICA PARA OPTIMIZAR LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN ATINGENIERÍA SPA

ANGELO DAVID TAPIA ROJAS

TRABAJO FINAL PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGÍSTER EN GESTIÓN DE ACTIVOS Y MANTENIMIENTO

PROFESORA GUÍA: Dra. Ing. Mónica López Campos

OCTUBRE 2026



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☐ Memoria o trabajo de título; ☒ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Modelo de digitalización y analítica para optimizar la gestión de mantenimiento en Atingeniería SpA

Nombre del candidato(a): Angelo Tapia Rojas

Carrera / Grado: Magíster en Gestión de Activos y Mantenimiento

Campus: Santiago Vitacura ; **Departamento:** Industrias

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Mónica López Campos, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO** contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 30/09/2026 ; **Firma:** 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 29/09/2026

; Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Índice

Resumen Ejecutivo.	4
1. Introducción.	5-6
2. Planteamiento del problema.	7
3. Objetivos	8
3.1. Objetivo General	8
3.2. Objetivos Específicos	8
4. Alcance del estudio.	9
5. Marco teórico.	10
5.1 Gestión de activos e ISO 55000.	10
5.2 Mantenimiento 4.0.	11
5.3 Medición del desempeño en mantenimiento.	12-13
6. Metodología.	14
6.1. Etapas Metodológicas.	14-18
6.2. Alcance metodológico.	18
7. Desarrollo.	19
7.1. Diagnóstico Inicial.	19
7.1.1. Descripción de la empresa.	19-20
7.2. Cuantificación inicial del proceso actual.	20-21
7.2.1 Parámetros operacionales considerados	21
7.2.2 Distribución del tiempo por servicio.....	21-22
7.2.3 Eficiencia del proceso actual.....	22
7.2.4 Eficacia documental del proceso.....	22-23
7.2.5 Síntesis de cuantificación inicial.....	23
7.3. Proceso actual (AS-IS).	23-27
7.3.1 Value Stream Map (VSM) de Proceso actual (AS-IS)	28-29
7.4. Diseño TO-BE (Proceso futuro digital estandarizado).....	29-32
7.5. Arquitectura del modelo de datos (conceptual).....	32-33
7.6. Modelo de datos propuesto (entidades y relaciones).....	33
7.7. Reglas de captura y validación (calidad de datos).....	34
7.8. Definición de KPIs y reglas de cálculo.....	34-35
8. Desarrollo de Prototipo Tecnológico	36
8.1 Objetivo del desarrollo tecnológico	36-37

8.2 Enfoque del prototipo	37-38
8.3 Alcance funcional del prototipo	38
8.4 Arquitectura general del prototipo	38-40
8.5 Stack tecnológico considerado	40-41
8.6 Módulos principales del prototipo	41
8.6.1 Módulo de acceso y usuarios.....	41
8.6.2 Módulo de formulario digital de Hoja de Servicio.....	42
8.6.3 Módulo de revisión del supervisor	42-43
8.6.4 Módulo de generación automática de documentos	43
8.6.5 Módulo de base de datos histórica	43-44
8.6.6 Módulo de dashboard web	44
8.7 Flujo funcional del prototipo.....	44-45
8.8 Planes de acción para la implementación	45
8.8.1 Plan de acción propuesto	45
8.9 Plan de mejora continua	46
8.10 Relación con Mantenimiento 4.0 e ISO 55000.....	46
8.11 Resultado del desarrollo: Generación aut de HS e Inf. Téc. en PDF.....	47
8.11.1 Hoja de Servicio generada automáticamente.....	47-48
8.11.2 Informe Técnico generado automáticamente	49-50
9. Validación, Justificación Económica y Conclusiones	51
9.1 Validación formal del modelo propuesto	51-53
9.2 Justificación económica del proyecto	53-54
9.3 Beneficio económico esperado.....	54
9.4 Periodo de recuperación de la inversión	55
9.5 Retorno sobre la inversión (ROI).....	55
9.6 Valor Actual Neto (VAN) preliminar.....	56
9.7 Tasa Interna de Retorno (TIR) preliminar.....	56
9.8 Conclusión de la justificación económica.....	56-57
9.9 Conclusiones finales	58-59
10 Bibliografía.....	60
11 Anexos	61-64

Resumen Ejecutivo.

La presente tesina propone el diseño y validación de un Modelo de Digitalización y Analítica para optimizar la gestión de mantenimiento preventivo y correctivo en ATingeniería SpA, integrando la generación de Hojas de Servicio (HS), la emisión del informe técnico al mandante y la habilitación de KPIs operacionales para mejorar la toma de decisiones y reducir pérdidas de tiempo en procesos administrativos.

Actualmente, ATingeniería opera con un flujo documental predominantemente manual: las HS se completan en papel, las evidencias (fotografías/observaciones) se gestionan por canales no estructurados y los informes se elaboran mediante revisión y transcripción por parte del supervisor. Este diseño genera retrabajo, atrasos, pérdida de información y limitaciones para construir una base histórica confiable. Para dimensionar el impacto, se plantea una cuantificación con datos.

Como resultado, se espera reducir significativamente el trabajo administrativo y los reprocesos, mejorar la trazabilidad del mantenimiento, estandarizar los entregables al mandante y habilitar una gestión basada en indicadores por equipo y por mandante. Finalmente, la tesina entrega un modelo replicable para pequeñas y medianas empresas de mantenimiento multiservicio, con potencial de escalabilidad y mejora continua a través de analítica de datos.

1. Introducción.

La gestión de mantenimiento en empresas multiservicio como ATingeniería SpA se desarrolla en un contexto operacional exigente: múltiples mandantes, activos distribuidos en distintas instalaciones, urgencias no planificadas (mantenimiento correctivo) y actividades programadas (mantenimiento preventivo) que deben ejecutarse con trazabilidad, rapidez y evidencia técnica. En este escenario, la documentación del servicio principalmente la Hoja de Servicio (HS) y el informe técnico al mandante no es solo un respaldo administrativo, sino un componente clave para demostrar cumplimiento, asegurar continuidad operacional, habilitar la mejora continua y sustentar la toma de decisiones.

Actualmente, en ATingeniería gran parte del proceso de documentación se realiza de forma manual: el técnico completa la HS en papel, las evidencias (fotografías/observaciones) se gestionan por canales no estructurados (p. ej., mensajería o correo) y el supervisor debe revisar, solicitar aclaraciones, transcribir y consolidar la información para generar el informe técnico final. Esta forma de trabajo, aunque funcional en lo operativo inmediato, genera consecuencias relevantes: retrasos en la entrega de informes, reprocesos, pérdida o inconsistencia de datos, y una baja capacidad para construir una base histórica confiable que permita calcular KPIs y controlar el desempeño real del mantenimiento.

Para dimensionar el problema y capturar el contexto con claridad, esta tesina incorpora una cuantificación con datos. Considerando un volumen de 250 servicios mensuales, el proceso manual puede demandar del orden de 234 horas al mes en tareas administrativas (técnicos + supervisión) y producir pérdidas estimadas del orden de \$4,07 MM CLP/mes (aproximado \$48,9 MM CLP/año), asociadas a digitación, reprocesos, visitas por información incompleta y atrasos documentales. Más allá del impacto económico, la pérdida más crítica es estratégica: la información queda dispersa y no estructurada, dificultando medir indicadores como MTTR, MTBF, cumplimiento del plan preventivo y cumplimiento de SLA documental, limitando la gestión basada en evidencia.

En respuesta a esta problemática, la presente tesina propone diseñar y validar un Modelo de Digitalización y Analítica que integre: captura digital estandarizada de datos en terreno,

generación automática de HS e informe técnico con la misma información, almacenamiento estructurado en una base de datos histórica y construcción de un tablero de KPIs por activo y por mandante. El trabajo se desarrolla bajo un enfoque descriptivo–explicativo, que diagnostica el proceso actual (AS-IS), diseña el proceso futuro (TO-BE), define el modelo de datos y los KPIs, desarrolla un prototipo funcional (formulario/documento/dashboard) y valida la propuesta mediante casos de mantenimiento representativos de la operación de ATingeniería.

Esta investigación busca demostrar, mediante la comparación de KPIs antes y después de la implementación del modelo digital, que la modernización del flujo HS–Informe–KPIs no es solo una mejora documental, sino una palanca de eficiencia y control. Para ello se consideran indicadores como tiempo documental por servicio, horas administrativas mensuales, costo administrativo, tasa de Hojas de Servicio incompletas, informes observados, evidencias extraviadas, disponibilidad de KPIs y generación automática de documentos. Esta comparación permite evidenciar el impacto del sistema sobre la reducción de reprocesos, la mejora de trazabilidad y la toma de decisiones basada en datos.

2. Planteamiento del problema

La gestión de mantenimiento en ATingeniería SPA presenta actualmente pérdidas significativas de tiempo debido a procesos manuales en la creación de Hojas de Servicio, recopilación de datos, elaboración de informes y su entrega al mandante. Esta situación genera reprocesos, retrasos y falta de visibilidad en el desempeño real del mantenimiento.

Un modelo digital y analítico permitirá:

- Reducir los tiempos administrativos en terreno y en oficina.
- Estandarizar la documentación entregada a los mandantes, mejorando la calidad del servicio.
- Incorporar indicadores clave (KPIs) que hoy no se calculan o se calculan de manera manual.
- Apoyar la toma de decisiones para optimizar el mantenimiento preventivo y correctivo.

Contribución teórica y práctica:

- Avance en la aplicación de modelos digitales dentro de pequeñas y medianas empresas de mantenimiento.
- Aporte metodológico para la incorporación de analítica y KPIs en procesos operacionales.
- Potencial de escalabilidad a otros clientes y rubros atendidos por ATingeniería SPA.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Diseñar y validar un Modelo de Digitalización y Analítica de Datos que permita optimizar la gestión de mantenimiento preventivo y correctivo en ATingeniería SPA, integrando la generación de Hojas de Servicio, el informe técnico al mandante y el cálculo de KPIs operacionales para mejorar la toma de decisiones y reducir pérdidas de tiempo en procesos administrativos.

3.2. Objetivos Específicos

1. Diagnosticar el proceso actual de generación, registro y entrega de Hojas de Servicio e informes operacionales en ATingeniería SPA, identificando brechas, reprocesos y oportunidades de digitalización.
2. Diseñar un flujo digital estandarizado para la captura de datos de mantenimiento, incluyendo mantenimiento preventivo (MP) y correctivo (MC).
3. Desarrollar un prototipo funcional (dashboard, formulario digital o sistema piloto) que permita integrar datos operacionales y generar KPIs tales como: cumplimiento de MP, MTTR, MTBF, disponibilidad, backlog, tiempo administrativo, entre otros.
4. Validar el modelo propuesto mediante su aplicación a casos reales de mantenimiento realizados por ATingeniería SPA.

4. Alcance del estudio

El estudio se enmarca en las operaciones de ATingeniería SPA, especialmente en los procesos de mantenimiento preventivo y correctivo que actualmente requieren una gestión documental manual y dispersa.

El trabajo se centrará en:

- Los flujos de generación de Hojas de Servicio.
- La elaboración de informes técnicos al mandante.
- La captura digital de datos en terreno.
- El diseño e implementación de KPIs de mantenimiento.

Perspectiva del estudio: operacional y tecnológica.

Tipo de estudio: descriptivo – explicativo, ya que describe el proceso actual, explica sus brechas y valida un modelo que propone una mejora basada en digitalización y analítica de datos.

5. Marco Teórico

5.1. Gestión de activos e ISO 55000

La gestión de activos corresponde a un enfoque organizacional orientado a obtener valor de los activos durante todo su ciclo de vida, considerando desempeño, riesgo, costo y cumplimiento de objetivos estratégicos. En este contexto, la familia de normas ISO 55000 constituye una referencia internacional para estructurar sistemas de gestión de activos aplicables a distintos tipos de organizaciones e industrias.

ISO 55000:2024 entrega el vocabulario, visión general y principios de la gestión de activos, estableciendo la base conceptual para comprender cómo los activos contribuyen al logro de los objetivos organizacionales. Por su parte, ISO 55001:2024 define los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de activos. Esta norma permite alinear las actividades técnicas y administrativas con los objetivos estratégicos de la organización, integrando planificación, operación, evaluación del desempeño y mejora continua.

En el caso de ATingeniería SpA, la aplicación de estos principios resulta relevante debido a que la empresa presta servicios de mantenimiento a múltiples mandantes y sobre distintos tipos de activos, tales como barreras automáticas, bombas, sistemas HVAC, generadores y otros equipos electromecánicos. Bajo esta lógica, la correcta gestión de la información de mantenimiento —Hojas de Servicio, informes técnicos, evidencias y registros históricos— se convierte en un elemento crítico para asegurar trazabilidad, control y toma de decisiones.

Desde la perspectiva de ISO 55000, la digitalización propuesta en esta tesina permite fortalecer la gestión de activos al transformar registros manuales dispersos en datos estructurados, disponibles y analizables. Esto contribuye a mejorar el control del ciclo de vida de los activos, el análisis de desempeño, la gestión de riesgos operacionales y la generación de indicadores clave para la mejora continua.

5.2. Mantenimiento 4.0

El concepto de Mantenimiento 4.0 surge como una evolución del mantenimiento tradicional hacia un modelo basado en datos, conectividad, automatización y analítica avanzada. Se relaciona directamente con la Industria 4.0, donde tecnologías como Internet de las Cosas (IoT), sistemas ciberfísicos, inteligencia artificial, bases de datos, dashboards y plataformas digitales permiten mejorar la forma en que se planifican, ejecutan y controlan las actividades de mantenimiento.

Martinetti, Demichela, Singh, Soares y Castro Silva (2020) plantean que el Mantenimiento 4.0 representa la integración entre mantenimiento e Industria 4.0, incorporando sistemas inteligentes capaces de predecir fallas, diagnosticar condiciones y apoyar la toma de decisiones. Esta visión cambia el mantenimiento desde una función principalmente reactiva hacia una función estratégica, basada en información confiable y disponible en tiempo real.

En este sentido, la digitalización de Hojas de Servicio no debe entenderse únicamente como el reemplazo del papel por un formulario digital. En realidad, constituye el primer paso hacia una gestión de mantenimiento basada en datos. Al capturar digitalmente la información del servicio, se habilita la construcción de una base histórica que permite calcular KPIs, analizar tendencias, identificar fallas recurrentes y evaluar el cumplimiento de compromisos con los mandantes.

Para ATingeniería, el Mantenimiento 4.0 se expresa en la propuesta de un flujo digital donde el técnico registra una única vez la información en terreno, el sistema genera automáticamente la Hoja de Servicio y el informe técnico, y los datos quedan disponibles para alimentar dashboards de gestión. De esta manera, la empresa avanza desde un proceso manual y documental hacia un modelo digital, trazable y analítico.

5.3. Medición del desempeño en mantenimiento

La medición del desempeño es un componente esencial de la gestión moderna del mantenimiento. No basta con ejecutar actividades preventivas y correctivas; también es necesario medir su efectividad, eficiencia y contribución a los objetivos de la organización. Para ello se utilizan indicadores clave de desempeño o KPIs, tales como MTTR, MTBF, backlog, cumplimiento del plan preventivo, disponibilidad, productividad técnica y cumplimiento de SLA.

Muchiri, Pintelon, Gelders y Martin (2011) indican que los indicadores de mantenimiento no deben definirse de manera aislada, sino alineados con los objetivos de la organización y con la relación entre el proceso de mantenimiento y sus resultados. Esto es especialmente importante para empresas multiservicio, donde el mantenimiento no solo impacta la disponibilidad del activo, sino también la satisfacción del mandante, el cumplimiento contractual y la eficiencia administrativa.

Asimismo, Parida y Kumar (2006) destacan que los sistemas de medición del desempeño en mantenimiento enfrentan desafíos importantes, tales como la selección adecuada de indicadores, la participación de los distintos niveles de la organización y la necesidad de integrar dimensiones técnicas, económicas y organizacionales.

En el caso de esta tesina, los KPIs propuestos buscan medir tanto el desempeño técnico como el impacto administrativo del proceso. Entre ellos se consideran:

- MTTR: tiempo medio de reparación.
- MTBF: tiempo medio entre fallas.
- Backlog: carga de trabajo pendiente.
- Cumplimiento del mantenimiento preventivo.
- Cumplimiento de SLA documental.
- Tiempo administrativo versus tiempo operativo.
- Productividad técnica.
- Reprocesos documentales.
- Completitud de evidencias.
- Pareto de fallas por activo y mandante.

La digitalización del proceso permite que estos indicadores se calculen de forma automática a partir de los datos capturados en terreno. Esto reduce la dependencia de

consolidaciones manuales y mejora la confiabilidad de la información para la toma de decisiones.

5.4. El Value Stream Map (VSM)

El Value Stream Map (VSM) es una herramienta Lean utilizada para representar visualmente el flujo de materiales, información y actividades de un proceso, permitiendo identificar tiempos que agregan valor, tiempos que no agregan valor, esperas, reprocesos y oportunidades de mejora. Su aplicación ha sido ampliamente utilizada para analizar procesos productivos y administrativos, facilitando el rediseño de flujos y la eliminación de desperdicios operacionales (Serrano Lasa et al., 2008; Romero & Arce, 2017). En el contexto de esta tesina, el VSM permite evidenciar las pérdidas asociadas al proceso manual de generación de Hojas de Servicio e informes técnicos, diferenciando la ejecución técnica del mantenimiento de las actividades documentales repetitivas que pueden ser digitalizadas.

6. Metodología

La presente investigación se enmarca en un enfoque descriptivo–explicativo, con perspectiva operacional y tecnológica. Se describe en detalle cómo funciona actualmente la gestión de mantenimiento, se explican las causas y consecuencias de sus ineficiencias, y se valida un modelo de mejora basado en digitalización y analítica de datos. El desarrollo se estructura en cinco fases secuenciales e integradas, diseñadas para garantizar rigor, aplicabilidad y medición de resultados.

6.1. Etapas metodológicas

A. Levantamiento y diagnóstico del proceso actual (AS-IS)

El objetivo de esta etapa es identificar, mapear y cuantificar la realidad operativa de AT Ingeniería SPA, estableciendo la línea base sobre la cual se diseñará la mejora. Se realizan las siguientes actividades:

- **Mapeo de procesos:** Se documenta el flujo completo actual, desde la recepción de la orden de trabajo, la ejecución en terreno con Hojas de Servicio en papel, el envío de evidencias por canales no estructurados (WhatsApp/correo), la revisión y transcripción manual por parte de supervisores, hasta la entrega del informe técnico al mandante y el archivo de información. Se utilizan diagramas de procesos (BPMN) para representar cada actividad, responsable, tiempos y puntos de control.
- **Cuantificación de indicadores y brechas:** Se recopilan y analizan datos operativos reales de los últimos meses, considerando el volumen de 250 servicios mensuales. Se miden:
 - Horas hombre dedicadas a tareas administrativas vs. operativas.
 - Tasas de reproceso, Hojas de Servicio incompletas o ilegibles, retrasos en informes y extravíos de información.

- Impacto económico derivado de estas ineficiencias (costos por horas perdidas, sanciones por incumplimiento de acuerdos de nivel de servicio, facturación tardía).
- Capacidad actual para generar indicadores de gestión y su confiabilidad.
- Identificación de oportunidades: Se determina qué etapas del proceso son susceptibles de digitalización, qué datos son relevantes y hoy no se registran adecuadamente, y cuáles son las necesidades reales de información para la toma de decisiones.

B. Diseño del proceso futuro digitalizado (TO-BE)

Objetivo: Sobre la base del diagnóstico, se diseña el nuevo modelo de gestión optimizado, organizado en tres pilares fundamentales: digitalización del flujo, modelo de datos y arquitectura de generación de información. Las actividades son:

- Diseño del flujo digital estandarizado: Se define el nuevo recorrido del proceso, eliminando la duplicidad de captura y la manipulación manual de información. Incluye:
 - Captura de datos en terreno mediante formularios digitales (móvil/web) con campos obligatorios, validaciones en tiempo real, integración de fotografías/evidencias y registro de firmas.
 - Sincronización automática de la información hacia una base de datos central estructurada.
 - Generación automática de la Hoja de Servicio y el informe técnico en formato PDF, listo para enviar al mandante.
 - Almacenamiento seguro y organizado de toda la información para consulta histórica.
- Definición del modelo de datos: Se estructuran las tablas y relaciones necesarias para almacenar toda la información operacional: mandantes, activos, órdenes de trabajo, tipos de falla, repuestos utilizados, tiempos de ejecución, personal involucrado, entre otros. Se establecen reglas de integridad y consistencia de la información.

- Especificación de requerimientos: Se detallan los requisitos funcionales (qué debe hacer el sistema) y no funcionales (rendimiento, seguridad, usabilidad, conectividad) que debe cumplir la solución.

C. Diseño del modelo de datos y definición de KPIs

Objetivo: Esta etapa establece cómo se transformarán los datos capturados en información útil para la gestión y la toma de decisiones:

- Definición de indicadores clave de desempeño (KPIs): Se seleccionan y definen las fórmulas, fuentes de datos y periodicidad de cálculo de los indicadores críticos para la gestión de mantenimiento, entre ellos:
 - Confiabilidad y disponibilidad: MTTR (tiempo promedio de reparación), MTBF (tiempo promedio entre fallas), disponibilidad de activos.
 - Cumplimiento: Porcentaje de ejecución del plan de mantenimiento preventivo, cumplimiento de acuerdos de nivel de servicio.
 - Eficiencia: Distribución de tiempos administrativos vs. operativos, productividad del equipo técnico, volumen de trabajo pendiente (*backlog*).
 - Análisis de fallas: Distribución de fallas por tipo, activo, mandante y frecuencia (diagrama de Pareto), para identificar causas raíz y patrones de comportamiento.
- Diseño de visualización: Se diseña la estructura del tablero de control (*dashboard*), definiendo qué información se mostrará, cómo se agrupará y qué niveles de detalle estarán disponibles, permitiendo visibilidad en tiempo real y análisis histórico.
- Reglas de cálculo y lógica: Se establece cómo el sistema procesará automáticamente los datos para generar los valores de cada indicador y alertas en caso de desviaciones

D. Desarrollo de prototipo funcional (modelo digital)

Objetivo: Se materializa el diseño en una solución práctica y operativa, utilizando herramientas accesibles y alineadas con la realidad tecnológica de la empresa. Se construye un prototipo integral que incluye:

- **Formulario digital:** Implementado en herramientas del Stack Digital se logra el diseño aprobado, con todos los campos, validaciones, carga de archivos y firmas electrónicas.
- **Base de datos estructurada:** Configurada para recibir, organizar y almacenar toda la información capturada, asegurando su integridad y trazabilidad.
- **Generación automática de documentos:** Configuración de plantillas para que, al completar el formulario, se genere automáticamente la Hoja de Servicio y el informe técnico en formato PDF, con la identidad corporativa y estructura estandarizada.
- **Tablero de control:** Desarrollado en herramientas del stack, conectado directamente a la base de datos, para visualizar los KPIs definidos, gráficos de análisis y comparativas, actualizándose automáticamente con cada nuevo servicio registrado.

El prototipo se desarrolla considerando la escalabilidad, de modo que pueda ser adaptado a nuevos activos, mandantes o servicios sin cambios estructurales mayores.

E. Validación y comparación de resultados

La etapa final consiste en poner a prueba el modelo propuesto en condiciones reales de operación para medir su impacto y validez:

- **Ejecución de casos piloto:** Se aplica el nuevo modelo en servicios de mantenimiento reales de AT Ingeniería SPA, seleccionando activos representativos como barreras automáticas, sistemas de bombeo, generadores y equipos HVAC. Se involucra al personal técnico y de supervisión habitual.
- **Medición de resultados:** Se registran y comparan los datos obtenidos con la línea base del diagnóstico:

- Tiempos de ejecución y administrativos.
- Cantidad de errores, reprocesos y correcciones.
- Calidad, completitud y oportunidad de la documentación entregada.
- Disponibilidad, precisión y facilidad de acceso a los indicadores de gestión.
- Análisis comparativo AS-IS vs. TO-BE: Se evalúan las diferencias cuantitativas y cualitativas entre la forma antigua y la nueva de trabajar, calculando reducciones de costos, ahorros de tiempo, mejora en la calidad del servicio y valor estratégico agregado.
- Validación de utilidad: Se recopila retroalimentación de los usuarios y mandantes para verificar si la solución cumple con las expectativas y necesidades planteadas.

Con los resultados obtenidos, se confirma si el modelo propuesto logra los objetivos de optimización, se identifican ajustes menores necesarios y se elaboran recomendaciones para su implementación definitiva y mejora continua.

6.2. Alcance metodológico

- Enfoque: Aplicado, centrado en resolver una necesidad real de la empresa, con soluciones prácticas y de implementación inmediata.
- Herramientas: Se utilizan tecnologías accesibles, sin requerir inversiones en infraestructura compleja, garantizando sostenibilidad.
- Exclusiones: No se consideran integraciones avanzadas (IoT, SCADA), sistemas completos de gestión de mantenimiento (CMMS) ni despliegue masivo inmediato; el foco está en la estandarización, digitalización básica y analítica de datos.

Esta metodología permite pasar de la identificación del problema a una solución probada y validada, demostrando cómo la transformación digital aplicada a procesos operativos genera valor medible en la gestión de activos y mantenimiento.

7. Desarrollo

7.1. Diagnóstico Inicial

7.1.1. Descripción de la empresa

AT Ingeniería SpA es una empresa de ingeniería y mantenimiento multiservicio, orientada a la operación y continuidad de activos en instalaciones de distintos mandantes (modelo multisite). Su trabajo se centra principalmente en la ejecución de mantenimiento preventivo y correctivo, con atención en terreno, generación de Hojas de Servicio e informes técnicos para respaldar el servicio y el cumplimiento de compromisos (SLA).

¿A qué se dedica?

- Gestión y ejecución de mantenimiento en terreno para activos electromecánicos e infraestructura asociada.
- Soporte técnico a mandantes mediante intervención correctiva (fallas) y ejecución de planes preventivos.
- Documentación técnica del servicio (HS + informe), recomendaciones y trazabilidad de intervenciones.

Servicios que presta (típicos en su operación):

1) Mantenimiento electromecánico y de infraestructura

- Diagnóstico y reparación de fallas.
- Mantenciones preventivas programadas, inspecciones y pruebas operacionales.

2) Sistemas atendidos habitualmente

- Control de accesos: barreras automáticas vehiculares/peatonales y sus componentes (motores, brazos, tarjetas, sensores, etc.).
- Sistemas de bombeo: bombas de aguas lluvias/aguas servidas, tableros de control, pruebas y ajustes.
- Energía y respaldo: grupos electrógenos, tableros eléctricos asociados, pruebas y verificaciones operacionales.
- Climatización / HVAC: inspecciones, mantenciones, diagnóstico, correcciones y recomendaciones técnicas.

3) Reportabilidad y soporte al mandante

- Emisión de informes técnicos post-servicio.
- Registro de repuestos/materiales utilizados, horas, evidencias fotográficas y recomendaciones.

7.2. Cuantificación inicial del proceso actual

La cuantificación del estado actual busca estimar el impacto operacional y económico del proceso manual de generación de Hojas de Servicio e informes técnicos en AT Ingeniería SpA. Para ello se considera una línea base referencial de 250 servicios mensuales, 12 técnicos en terreno y 2 supervisores o revisores documentales.

El análisis diferencia entre actividades que agregan valor al servicio y actividades que no agregan valor directo al mandante, pero que actualmente consumen tiempo y recursos debido al uso de registros en papel, transcripción manual, revisión documental, búsqueda de evidencias y correcciones posteriores.

Para efectos de esta tesina, se considera como actividad que agrega valor aquella directamente relacionada con la ejecución técnica del mantenimiento, diagnóstico, reparación, inspección, prueba operacional o entrega efectiva de solución al mandante. En cambio, se considera como actividad que no agrega valor directo aquella asociada a

tareas administrativas repetitivas, doble digitación, reconstrucción de información, aclaraciones, correcciones, búsqueda de evidencias, impresión, archivo físico y reprocesos documentales.

7.2.1 Parámetros operacionales considerados

1. Datos operacionales

- Servicios mensuales (HS generadas): 250
- Técnicos en terreno: 12
- Supervisores/revisores: 2
- Servicios promedio por día hábil: promedio 12–13

2. Costos de hora (costo empresa)

- Técnico: \$12.000 CLP/h
- Supervisor: \$18.000 CLP/h

7.2.2 Distribución del tiempo por servicio

En el proceso actual, cada servicio requiere actividades técnicas y administrativas. Si bien el mantenimiento ejecutado en terreno constituye el núcleo de valor del servicio, el flujo manual obliga a destinar tiempo adicional a completar documentos, enviar evidencias, entregar físicamente la Hoja de Servicio, revisar, transcribir y generar el informe técnico.

Tipo de actividad	Responsable	Tiempo promedio por servicio	Clasificación
Ejecución técnica del mantenimiento	Técnico	90 min	Agrega valor
Completar HS en papel	Técnico	12 min	No agrega valor directo
Enviar evidencias por WhatsApp/correo	Técnico	5 min	No agrega valor directo
Entrega física / gestión documental	Técnico	6 min	No agrega valor directo
Revisión de HS	Supervisor	10 min	Control necesario
Transcripción y armado de informe PDF	Supervisor	18 min	No agrega valor directo

Tab. 1: Distribución del tiempo por servicios

Considerando estos tiempos, el proceso actual presenta aproximadamente 90 minutos de trabajo técnico de valor y 51 minutos de carga administrativa/documental por servicio, sin

considerar reprocesos. Esto implica que, por cada servicio, alrededor del 36,2% del tiempo total asociado al flujo completo se destina a actividades administrativas, controles o reprocesos documentales

7.2.3 Eficiencia del proceso actual

Para estimar la eficiencia del proceso actual, se utiliza una relación simple entre tiempo que agrega valor y tiempo total del flujo de servicio-documentación:

Indicador	Fórmula	Resultado
Tiempo que agrega valor	Ejecución técnica	90 min
Tiempo administrativo/documental	Técnico + supervisor	51 min
Tiempo total considerado	90 + 51	141 min
Eficiencia de tiempo del proceso	$90 / 141 \times 100$	63,80%
Tiempo no asociado a valor directo	$51 / 141 \times 100$	36,20%

Tab. 2: Eficiencia del Proceso Actual

Este resultado permite observar que una proporción relevante del tiempo total del proceso se consume en actividades administrativas o documentales. Aunque algunas de estas actividades son necesarias para control y respaldo, el problema se produce porque actualmente se realizan de forma manual, con duplicidad de registro y baja trazabilidad.

7.2.4 Eficacia documental del proceso

Además de la eficiencia de tiempo, se evalúa la eficacia documental, entendida como la capacidad del proceso para generar registros completos y correctos en el primer intento.

Indicador	Tasa referencial
Hojas de Servicio incompletas	15%
Informes observados o corregidos	8%
HS/evidencias extraviadas	2%
Revisitas por información insuficiente	3%
Trabajos/documentos correctos a la primera	77%

Tab. 3: Tasa referencial

La tasa estimada de trabajos o documentos correctos a la primera se calcula descontando del total las principales incidencias documentales: HS incompletas, informes observados y extravíos. Con ello, se estima que aproximadamente 77% de los servicios logra un cierre documental sin observaciones relevantes, mientras que el 23% restante requiere algún tipo de aclaración, corrección, búsqueda de información o reproceso.

Este indicador evidencia que el problema no solo se relaciona con el tiempo administrativo, sino también con la calidad del dato capturado en terreno. La falta de campos obligatorios, catálogos estandarizados y validaciones genera errores que deben ser corregidos posteriormente por técnicos o supervisores.

7.2.5 Síntesis de cuantificación inicial

La cuantificación inicial permite establecer que el proceso manual presenta tres pérdidas principales:

1. Pérdida de eficiencia: una parte relevante del tiempo total del flujo se consume en actividades administrativas y repetitivas.
2. Pérdida de eficacia: cerca de un 23% de los servicios presenta algún tipo de incidencia documental o reproceso.
3. Pérdida de información: los datos quedan dispersos en papel, correos y mensajería, dificultando la construcción de KPIs confiables.

El análisis desglosado de tiempos, pérdidas económicas, reprocesos e impacto estratégico se desarrolla en el apartado 7.3 mediante el estudio del proceso actual AS-IS.

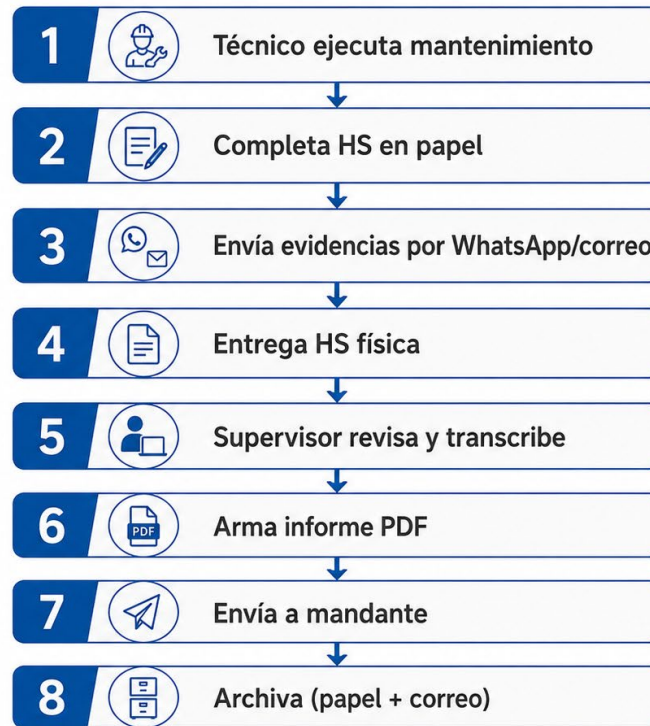
7.3. Proceso actual (AS-IS)

Flujo manual actual:

1. Técnico ejecuta mantenimiento - 2) completa HS en papel - 3) envía evidencias por WhatsApp/correo - 4) entrega HS física - 5) supervisor revisa y transcribe - 6) arma informe PDF - 7) envía a mandante - 8) archiva (papel + correo).

Flujo manual actual

Proceso actual de generación y gestión documental



Fuente: Elaboración propia

Fig. 1 Flujo manual Actual

2. Pérdidas típicas observadas:

- Doble captura/doble trabajo (papel - digitación).
- Reproceso: aclaraciones y correcciones.
- Extravío o evidencias incompletas.
- Atraso en cierre documental (afecta SLA documental / facturación).
- Datos no estructurados - no se pueden calcular KPIs confiables.

3. Estudio de tiempos del proceso manual

3.1 Tiempo por servicio (promedio)

Técnico

- Completar HS en papel: 12 min
- Enviar evidencias / gestión WhatsApp-correos: 5 min

- Entrega física / gestión documental: 6 min

Total técnico = 23 min/servicio

Supervisor

- Revisión HS: 10 min
- Transcripción + armado de informe PDF: 18 min

Total supervisor = 28 min/servicio

3.2 Incidencias del proceso

- HS incompleta - requiere aclaración: 15%
- Informe observado - requiere corrección: 8%
- HS/evidencia extraviada: 2%
- Revisita por información/evidencia insuficiente: 3%

4. Carga mensual de trabajo administrativo (HH/mes)

4.1 Carga base mensual

Técnico (23 min × 250):

5.750 min = 95,83 h/mes

Supervisor (28 min × 250):

7.000 min = 116,67 h/mes

4.2 Carga adicional por incidencias

Aclaraciones

- 15% de 250 = 38 casos/mes
- Técnico: 4 min/caso = 2,53 h/mes
- Supervisor: 6 min/caso = 3,80 h/mes

Correcciones

- 8% de 250 = 20 casos/mes
- Técnico: 8 min/caso = 2,67 h/mes
- Supervisor: 20 min/caso = 6,67 h/mes

Extravíos

- 2% de 250 = 5 casos/mes
- Técnico: 15 min/caso = 1,25 h/mes
- Supervisor: 60 min/caso = 5,00 h/mes

Total técnico administrativo:

95,83 + 2,53 + 2,67 + 1,25 = 102,28 h/mes

Total supervisor administrativo:

$$116,67 + 3,80 + 6,67 + 5,00 = 132,14 \text{ h/mes}$$

Total general: 234,42 h/mes

Equivalente a 1,46 FTE (considerando 160 h/mes por persona).

FTE= Equivalente a Jornada Completa

5. Cuantificación económica de pérdidas

5.1 Pérdidas directas (horas administrativas)

Técnicos: $102,28 \text{ h} \times \$12.000 = \$1.227.360/\text{mes}$

Supervisores: $132,14 \text{ h} \times \$18.000 = \$2.378.520/\text{mes}$

Total pérdidas directas = \$3.605.880 CLP/mes

5.2 Pérdidas indirectas (operacionales)

Revisitas por evidencia/dato insuficiente

- 3% de 250 = 8 casos/mes
- Tiempo técnico: 1,5 h/caso $\rightarrow 12 \text{ h} \times \$12.000 = \$144.000$
- Traslado promedio: $\$8.000/\text{caso} \rightarrow 8 \times \$8.000 = \$64.000$

Subtotal re-visitas = \$208.000/mes

Penalización / impacto SLA documental

- 6 casos/mes $\times \$30.000 = \$180.000/\text{mes}$

Costo financiero por facturación tardía (3 días promedio)

- Facturación mensual estimada asociada a servicios: \$33.330.000
- Costo capital mensual 1,2% - $33.330.000 \times (3/30) \times 0,012$ aproximado
\$40.000/mes

Papelería/impresión

- 3 páginas $\times \$50 \times 250 = \$37.500/\text{mes}$

Total pérdidas indirectas = \$465.500/mes

6. Resultado global (mensual y anual)

Pérdida mensual total estimada (ficticia): $\$3.605.880 + \$465.500 = \$4.071.380$

CLP/mes

Pérdida anual estimada: $\$4.071.380 \times 12 = \$48.856.560 \text{ CLP/año}$

7. Pérdida estratégica: datos insuficientes para KPIs (impacto no monetizado)

El proceso actual no genera una base de datos estructurada; la información queda repartida en HS papel, correos y mensajería. Esto provoca:

- KPIs incompletos o no confiables:
 - MTTR real por activo/mandante
 - MTBF / frecuencia de fallas por activo
 - Backlog real y envejecimiento de OT
 - Cumplimiento de MP (porcentaje ejecutado vs planificado)
 - SLA real (tiempos de respuesta, cierre, entrega documental)
- Tiempo perdido en consolidación manual: cierres mensuales o reportes a mandantes requieren búsqueda y armado manual (horas-hombre adicionales).
- Decisiones sin evidencia: se prioriza por urgencia, no por criticidad ni tendencia histórica.

Resumen

Con 250 servicios mensuales, el proceso manual (HS en papel + informe por transcripción) genera una pérdida estimada de \$4,07 MM CLP/mes (aproximado \$48,9 MM/año) y consume 234 h/mes en tareas administrativas. Además, la información queda dispersa, impidiendo construir KPIs confiables (MTTR, SLA, backlog) para optimizar el mantenimiento.

Indicador	Valor
Servicios/mes	250
HH administrativas/mes (téc + sup)	234,42 h
Pérdida directa mensual (HH)	\$3.605.880
Pérdida indirecta mensual	\$465.500
Total mensual estimado	\$4.071.380
Total anual estimado	\$48.856.560

Tab 4: Tabla Resumida Cuantificación

7.3.1 Value Stream Map (VSM) de Proceso actual (AS-IS)

El Value Stream Map (VSM), o Mapa de Flujo de Valor, es una herramienta de análisis utilizada para representar de forma visual todas las etapas de un proceso, desde el inicio de una solicitud hasta la entrega final de un producto, servicio o información al cliente. Su objetivo principal es identificar qué actividades agregan valor y cuáles generan pérdidas, esperas, reprocesos o trabajo innecesario dentro del flujo.

En el contexto de esta tesina, el VSM permite analizar el proceso actual de generación de Hojas de Servicio e Informes Técnicos en AT Ingeniería SpA. A través de esta herramienta se puede observar, en una sola figura, cómo fluye la información desde la solicitud del mandante hasta la entrega del informe final, identificando los tiempos asociados a cada etapa y diferenciando las actividades técnicas de valor de las actividades administrativas o repetitivas.

Etapas	Responsable	Tiempo estimado	Agrega valor	Tipo de pérdida
Ejecución del mantenimiento	Técnico	90 min	Sí	—
Completar HS en papel	Técnico	12 min	No	Registro manual
Enviar evidencias por WhatsApp/correo	Técnico	5 min	No	Información dispersa
Entrega física de HS	Técnico	6 min	No	Traslado / espera documental
Revisión de HS	Supervisor	10 min	Parcial	Control por baja calidad del dato
Transcripción de información	Supervisor	18 min	No	Doble digitación
Correcciones / aclaraciones	Técnico / Supervisor	Variable	No	Reproceso
Generación de informe PDF	Supervisor	Incluido en transcripción	Parcial	Actividad manual repetitiva
Envío al mandante	Supervisor	Variable	Sí	Puede atrasarse por pasos previos
Archivo papel + correo	Supervisor / Administración	Variable	No	Almacenamiento no estructurado

Tab 5: Tabla VSM del proceso actual AS-IS

El Value Stream Map del proceso actual permite diferenciar las actividades que agregan valor directo al mandante de aquellas que, aun siendo necesarias para control documental, no agregan valor directo al servicio. El principal hallazgo es que el proceso manual presenta pérdidas asociadas a doble digitación, espera documental, búsqueda de evidencias, reprocesos y almacenamiento no estructurado. Estas pérdidas explican la

baja disponibilidad de información confiable para KPIs y justifican el diseño de un flujo digital TO-BE.

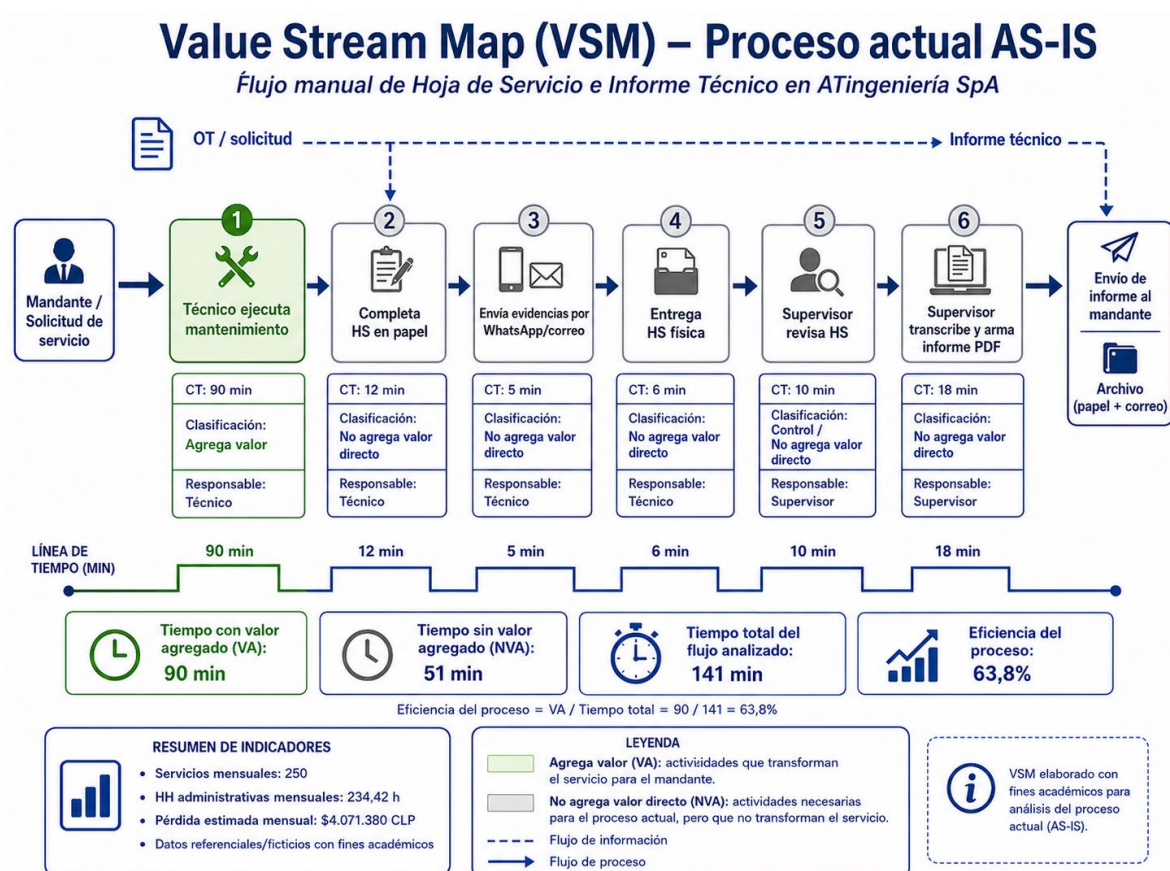


Fig. 2: VMS Proceso Actual

7.4. Diseño TO-BE (Proceso futuro digital estandarizado)

Objetivo del TO-BE

Eliminar la doble digitación (HS papel → transcripción), asegurar trazabilidad y generar una fuente única de datos que permita:

1. generar automáticamente HS + informe, y
2. calcular KPIs por activo y por mandante.

Flujo TO-BE propuesto (digital)

1. Creación/Asignación de Servicio (OT/HS)

- Supervisor o coordinador crea la OT/HS en el sistema (o se genera desde plan MP).
- Se asigna técnico y se define prioridad/SLA documental.
- 2. Ejecución en terreno
 - Técnico abre la OT/HS en aplicación móvil/web.
 - Registra inicio/fin, actividades, fallas, repuestos, observaciones.
 - Adjunta evidencias (fotos) y firma del mandante (si aplica).
- 3. Validación automática de datos (control de calidad)
 - Campos obligatorios y catálogos estandarizados (listas).
 - Reglas: no permite cerrar OT si faltan datos críticos (activo, horas, actividad, evidencia mínima).
- 4. Generación automática de entregables
 - El sistema genera HS PDF y Informe técnico PDF desde la misma data.
- 5. Revisión / Aprobación (opcional según mandante)
 - Supervisor revisa y aprueba (con observaciones si corresponde).
- 6. Envío automático a mandante
 - Envío por correo/portal y registro del envío
- 7. Cierre y almacenamiento
 - OT/HS queda cerrada, indexada por mandante/activo/fecha.
 - Datos se almacenan en base histórica estructurada.
- 8. Actualización de KPIs
 - Dashboard KPI se actualiza por periodo, activo y mandante.

Beneficios del TO-BE (en términos de proceso)

- “Una sola captura”: el técnico registra una vez y se generan los documentos.
- Asegura trazabilidad (quién, cuándo, dónde, qué se hizo, evidencia).
- Habilita analítica (KPIs) sin consolidación manual.

Diagrama de Flujo TO-BE del Proceso Digital de Mantenimiento

Modelo futuro estandarizado para ATingeniería SpA

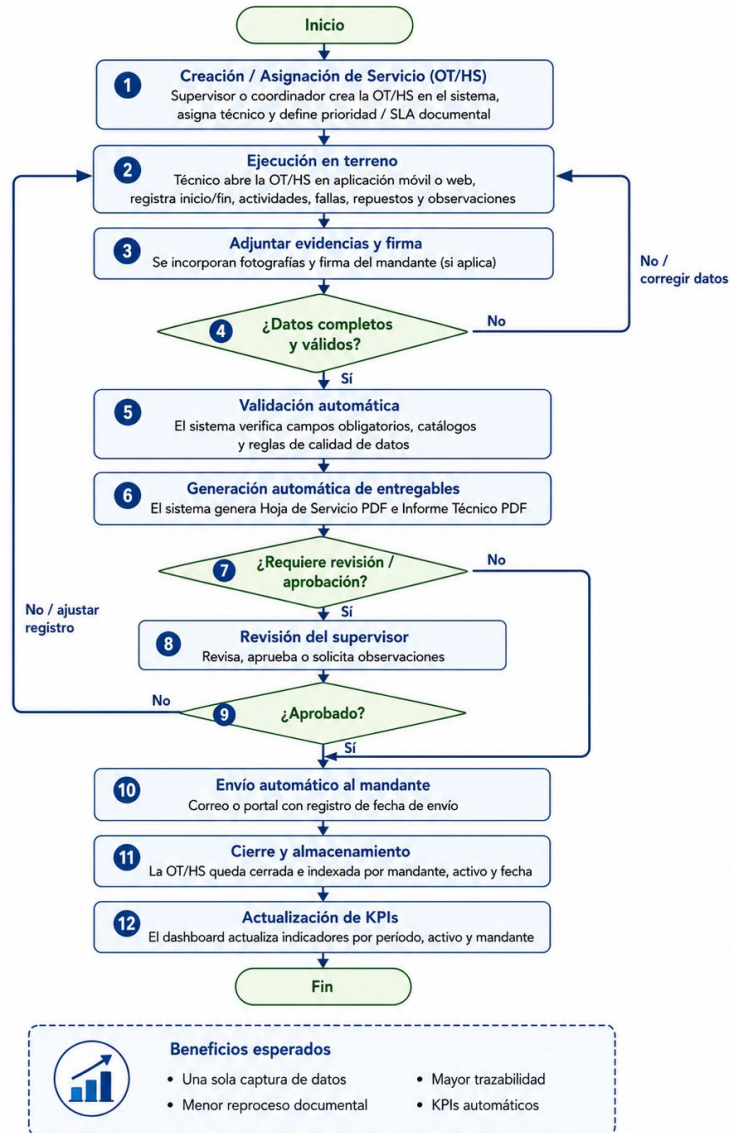


Fig. 3: Diagrama Flujo TO-BE

Indicador	AS-IS manual	TO-BE digital estimado	Mejora esperada
Tiempo técnico documental	23 min/servicio	10 min/servicio	-56,50%
Tiempo supervisor documental	28 min/servicio	8 min/servicio	-71,40%
Tiempo documental total	51 min/servicio	18 min/servicio	-64,70%
HH administrativas mensuales	234,42 h/mes	82,72 h/mes aprox.	-151,7 h/mes
Costo administrativo mensual	\$3.605.880	\$1.268.000 aprox.	Ahorro aprox. \$2.337.880
HS incompletas	15%	5%	-10 puntos
Informes observados	8%	3%	-5 puntos
Evidencias extraviadas	2%	<1%	Reducción significativa
Disponibilidad de KPIs	Manual / parcial	Automática	Mejora alta

Tab 6: Comparación AS-IS vs TO-BE

La comparación entre el proceso AS-IS y el proceso TO-BE permite estimar que la digitalización reduciría de forma significativa el tiempo documental por servicio. Mientras el proceso manual requiere aproximadamente 51 minutos administrativos por servicio, el flujo digital proyectado requeriría cerca de 18 minutos, principalmente asociados a validación y revisión. Esto representa una reducción estimada del 64,7% del tiempo documental, liberando horas de técnicos y supervisores para actividades de mayor valor.

7.5 Arquitectura del modelo de datos (conceptual)

Objetivo del modelo de datos

Estructurar los datos operacionales de mantenimiento para:

- generar documentos automáticos,
- construir histórico por activo/mandante,
- calcular KPIs de forma consistente y auditable.

Arquitectura (capas)

Capa 1 – Captura (Aplicación móvil/web)

- Formularios estandarizados, listas desplegables, adjuntos (fotos), firma.

Capa 2 – Persistencia (Base de datos / repositorio estructurado)

- Tablas normalizadas: activos, mandantes, órdenes, actividades, fallas, tiempos, repuestos, evidencias.

Capa 3 – Presentación (Documentos automáticos)

- Plantillas HS e informe técnico (PDF) alimentadas por BD.

Capa 4 – Analítica (KPIs / Dashboard)

- Dataset para Django con medidas DAX o SQL.

7.6 Modelo de datos propuesto (entidades y relaciones)

Nota: este diseño es “mínimo viable” y escalable.

Entidades principales

1. Mandante
 - id_mandante, razón_social, rut, contacto, SLA_documental_horas
2. Sitio/Instalación
 - id_sitio, id_mandante, nombre, dirección, comuna
3. Activo
 - id_activo, id_sitio, tag/código, tipo (barrera/bomba/HVAC/generador), marca, modelo, serie, criticidad
4. OrdenTrabajo / Servicio (OT/HS)
 - id_ot, id_mandante, id_sitio, id_activo, tipo (MP/MC), fecha_creación, fecha_inicio, fecha_fin, estado, prioridad, creador, técnico_asignado
5. ActividadesEjecutadas
 - id_act_ejec, id_ot, id_actividad_catalogo, descripción_libre, duración_min
6. CatálogoActividades
 - id_actividad, tipo (MP/MC), nombre_actividad, estándar
7. Falla / Modo de falla (solo MC o si detecta hallazgo)
 - id_falla, id_ot, modo_falla, causa_probable, severidad
8. Materiales/Repuestos
 - id_material_ejec, id_ot, código, descripción, cantidad, costo_unitario (opcional)
9. Evidencias
 - id_evidencia, id_ot, tipo (foto), ruta/URL, fecha_carga
10. Firmas
 - id_firma, id_ot, nombre_receptor, cargo, firma_imagen/confirmación
11. Usuarios
 - id_usuario, rol (técnico/supervisor/admin), nombre, correo

7.7 Reglas de captura y validación (calidad de datos)

Reglas obligatorias para cerrar una OT/HS

- id_mandante, id_sitio, id_activo obligatorios
- tipo servicio (MP/MC) obligatorio
- fecha_inicio y fecha_fin obligatorias
- al menos 1 actividad ejecutada registrada
- al menos 1 evidencia para correctivos (regla configurable)
- materiales/repuestos si se marcó “uso de repuesto = Sí”
- firma del mandante (si el contrato lo exige)

Catálogos estandarizados (para evitar texto libre)

- tipos de servicio (MP/MC)
- actividades (catálogo)
- modos de falla (catálogo)
- criticidad del activo (alta/media/baja)
- prioridades (P1/P2/P3)

7.8 Definición de KPIs y reglas de cálculo

Los KPIs se calculan por periodo (semanal/mensual), y se pueden filtrar por mandante, sitio y activo.

KPI 1: Tiempo administrativo vs tiempo operativo

Objetivo: medir cuánto tiempo se va en documentación (captura, revisión, armado).

Regla (ficticia, por línea base):

- Tiempo administrativo actual = (min_técnico_doc + min_supervisor_doc) × servicios
- En digital se espera reducirlo en 40–60%.

KPI 2: MTTR (Mean Time To Repair)

Definición: tiempo promedio de reparación por correctivo.

Regla:

- Para MC: duración = fecha_fin – fecha_inicio
- MTTR = promedio(duración_horas) para OT tipo = MC

Filtro: por activo, sitio, mandante.

KPI 3: MTBF (Mean Time Between Failures) (*si aplica*)

Definición: tiempo promedio entre fallas para un activo.

Regla:

- Para cada activo: MTBF = promedio(tiempo entre OT correctivas consecutivas)
- Requiere historial mínimo de eventos.

KPI 4: Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (MP)

Definición: % de OT preventivas ejecutadas respecto de las planificadas.

Regla:

- Cumplimiento MP = $(OT_MP \text{ cerradas en periodo} / OT_MP \text{ planificadas en periodo}) \times 100$

KPI 5: Backlog de mantenimiento

Definición: carga de trabajo pendiente en OT abiertas.

Regla simple (operacional):

- Backlog = número de OT abiertas (y/o > X días) por mandante/sitio
- Regla avanzada (capacidad)
- Backlog (semanas) = HH estimadas pendientes / HH disponibles semanales

KPI 6: Cumplimiento SLA documental (entrega de informe)

Definición: % informes enviados dentro del tiempo comprometido (ej. 24h).

Regla:

- Tiempo_documental = fecha_envío_informe – fecha_fin_servicio
- Cumple si $Tiempo_documental \leq SLA_documental_horas$ (por mandante)
- KPI = $(OT \text{ que cumplen} / OT \text{ cerradas}) \times 100$

KPI 7: Productividad técnica

Definición: servicios realizados por técnico (y horas promedio por servicio).

Regla:

- Productividad = OT cerradas por técnico / periodo
- Duración promedio servicio = promedio(fecha_fin – fecha_inicio)

KPI 8: Pareto de fallas (por mandante/activo)

Definición: distribución de modos de falla.

Regla:

- Conteo de fallas por modo_falla en periodo → top 5 (80/20)

8. Desarrollo de Prototipo Tecnológico

8.1. Objetivo del desarrollo tecnológico

El prototipo funcional tiene por objetivo materializar el modelo digital propuesto por ATingeniería, permitiendo reemplazar el proceso manual de Hojas de Servicio en papel por una plataforma web que capture datos en terreno, genere automáticamente la Hoja de Servicio e informe técnico, almacene la información en una base de datos y habilite indicadores de mantenimiento para la toma de decisiones.

La solución se estructura bajo una arquitectura moderna basada en Frontend, Backend, Base de Datos, Infraestructura Cloud y Dashboard Analítico, permitiendo escalabilidad, seguridad, mantenibilidad y operación multi-mandante.

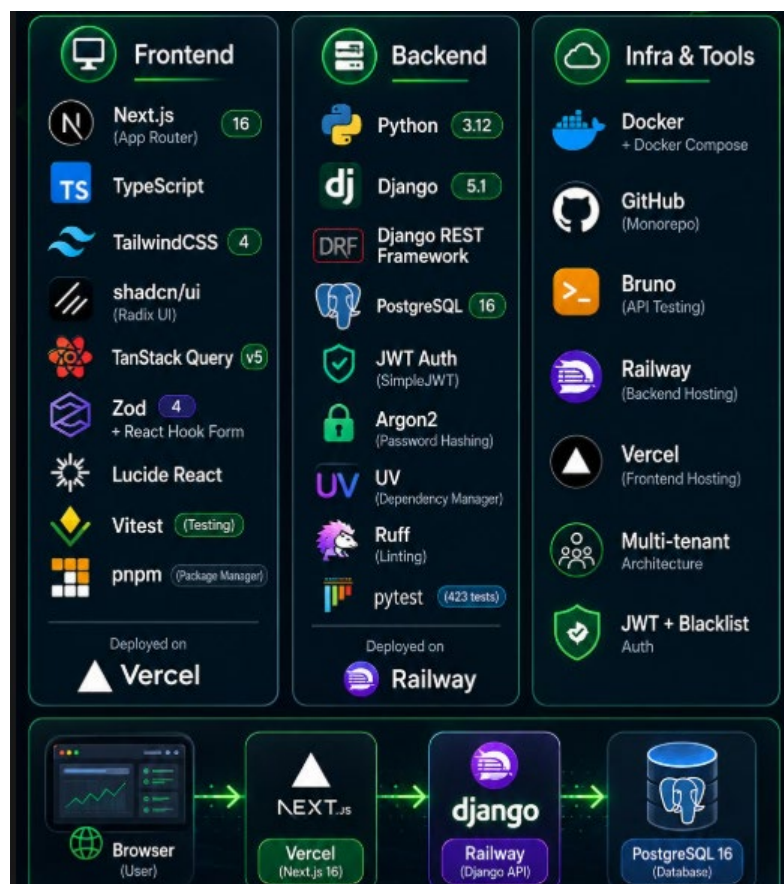


Fig. 4 Stack Tecnológico

El objetivo de este es desarrollar un prototipo funcional del modelo digital propuesto para ATingeniería SpA, utilizando un stack tecnológico moderno basado en:

- Frontend: Next.js, TypeScript, TailwindCSS, shadcn/ui
- Backend: Python, Django, Django REST Framework
- Base de datos: PostgreSQL
- Seguridad: JWT Auth, Argon2
- Infraestructura: Docker, GitHub, Vercel, Railway
- Dashboard: desarrollado directamente en la aplicación web

El prototipo permitirá validar el flujo digital propuesto, desde la captura de datos en terreno hasta la generación automática de la Hoja de Servicio, emisión del informe técnico y visualización de KPIs operacionales en un dashboard propio.

Esta etapa busca pasar desde el diseño conceptual del proceso futuro hacia una solución demostrable, capaz de evidenciar cómo la organización podría reemplazar progresivamente el uso de Hojas de Servicio en papel por una plataforma digital.

El prototipo se orienta a resolver una de las principales brechas detectadas en el diagnóstico: la existencia de un proceso manual, fragmentado y dependiente de múltiples trasposos de información. Actualmente, el técnico registra los datos en papel, las evidencias se envían por canales externos como WhatsApp o correo, el supervisor debe revisar y transcribir la información, y posteriormente se genera un informe técnico de forma manual. Este flujo genera pérdida de tiempo, reprocesos, atrasos documentales y baja disponibilidad de información para la generación de indicadores.

Frente a esta situación, el prototipo propone una plataforma web que permita registrar la información directamente en terreno, generar automáticamente la Hoja de Servicio y el informe técnico, almacenar los datos en una base histórica y presentar indicadores mediante un dashboard propio dentro del sistema.

8.2. Enfoque del prototipo

El prototipo se diseña como una herramienta digital de apoyo a la operación de mantenimiento. Su objetivo no es reemplazar la labor técnica, sino facilitar el registro, estandarizar la información y disminuir el trabajo administrativo posterior.

La lógica principal del prototipo es que la información se ingrese una sola vez y luego pueda ser reutilizada para distintos fines. Por ejemplo, los datos ingresados por el técnico durante el servicio podrán servir simultáneamente para:

- Generar la Hoja de Servicio digital.
- Crear el informe técnico al mandante.
- Registrar el historial del activo intervenido.
- Respalidar evidencias fotográficas.
- Calcular indicadores de gestión.
- Facilitar la revisión del supervisor.
- Mejorar la trazabilidad documental.

De esta forma, el sistema reduce la doble digitación y transforma cada servicio ejecutado en una fuente de información estructurada para la gestión de mantenimiento.

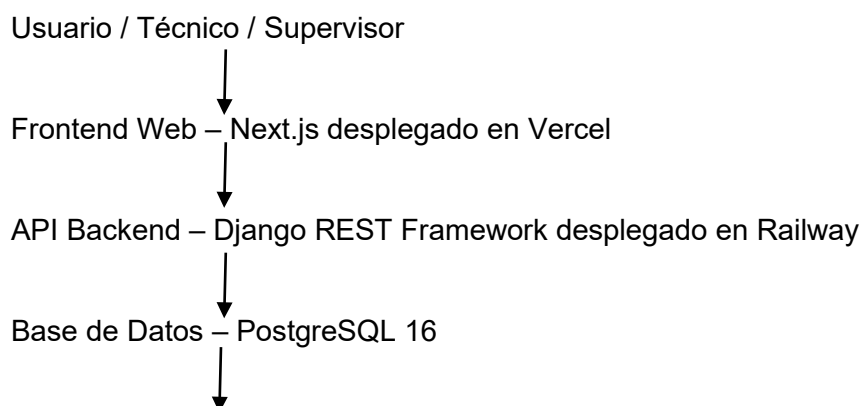
8.3 Alcance funcional del prototipo

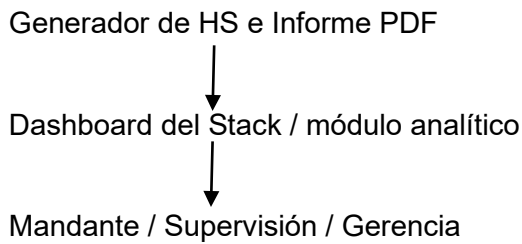
El prototipo funcional considera los siguientes módulos:

1. Módulo de autenticación y roles
2. Formulario digital de Hoja de Servicio
3. Módulo de revisión y aprobación
4. Generación automática de PDF
5. Base de datos operacional
6. Dashboard web de KPIs
7. Planes de acción y mejora

8.4 Arquitectura general del prototipo

El flujo tecnológico propuesto es el siguiente:





Esta arquitectura permite que la información capturada una sola vez en terreno sea utilizada para múltiples fines: documentación, trazabilidad, control operacional y cálculo de KPIs. Y desde una misma plataforma digital.

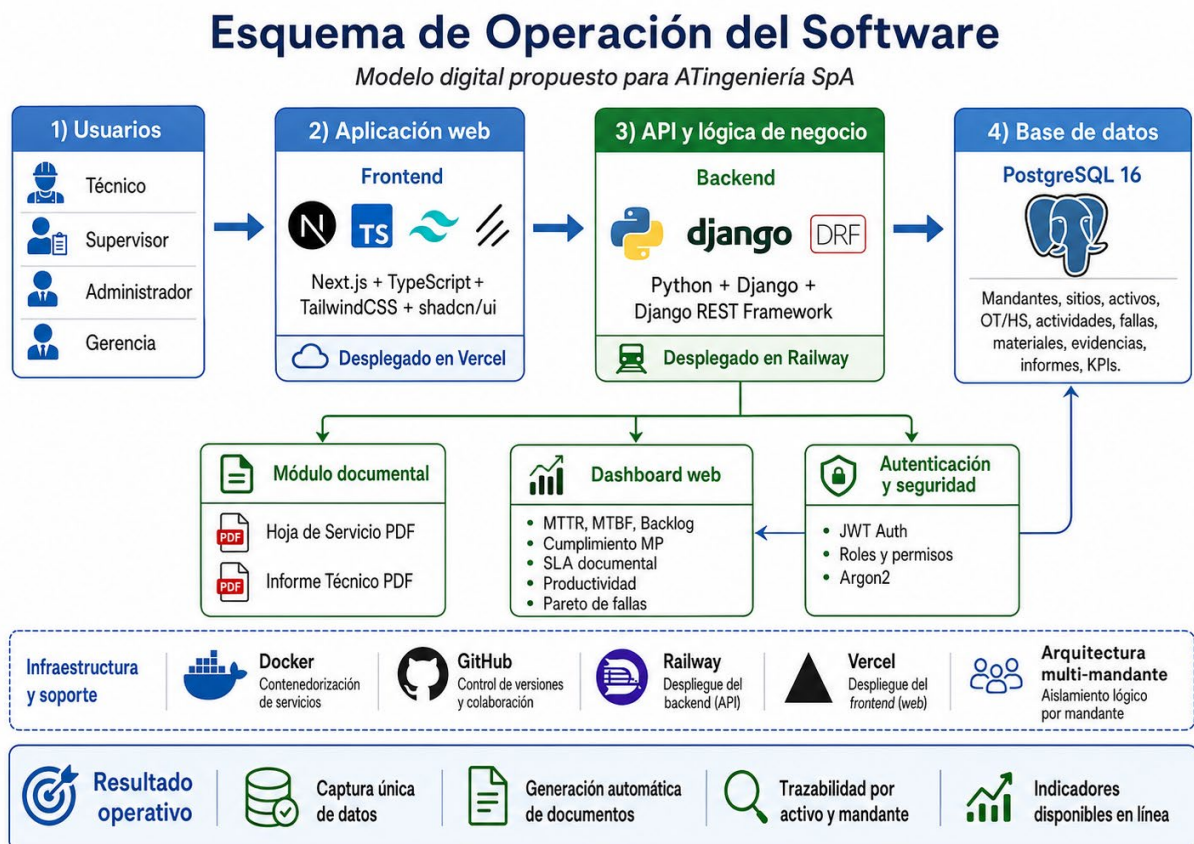


Fig. 5: Esquema de Operación del Software

El esquema de operación del software permite visualizar cómo se relacionan los principales componentes del prototipo. La aplicación web actúa como punto de entrada para técnicos y supervisores; el backend administra las reglas de negocio, validaciones y generación documental; la base de datos almacena el historial estructurado de servicios; y

el dashboard web presenta los indicadores de gestión. Esta arquitectura permite que la información capturada una sola vez en terreno sea reutilizada para documentos, trazabilidad, análisis histórico y KPIs.

8.5 Stack tecnológico considerado

El desarrollo del prototipo se basará en un stack tecnológico compuesto por herramientas modernas para aplicaciones web. Estas tecnologías permiten construir una solución escalable, segura y mantenible, adecuada para una empresa multiservicio como ATingeniería.

El sistema se organizará en tres grandes componentes:

1. Aplicación web para los usuarios: será la interfaz donde técnicos, supervisores y administradores podrán ingresar y consultar información.
2. Servidor o backend: será el componente encargado de procesar la información, aplicar reglas del negocio, gestionar usuarios y generar documentos.
3. Base de datos: será el repositorio donde quedará almacenado el historial de servicios, activos, mandantes, evidencias y datos necesarios para los KPIs.

El frontend será desarrollado con Next.js, TypeScript, TailwindCSS y componentes visuales reutilizables. Esto permitirá crear una interfaz clara, ordenada y accesible desde distintos dispositivos, como computador, tablet o teléfono móvil.

El backend se desarrollará con Python, Django y Django REST Framework. Este componente permitirá administrar la información del sistema, validar los datos enviados desde el formulario, gestionar permisos de usuario y generar los documentos automáticos.

La base de datos será PostgreSQL, donde se almacenará de forma estructurada la información histórica de mantenimiento. Esta base permitirá consultar servicios por mandante, activo, técnico, fecha, tipo de mantenimiento, fallas, materiales utilizados y evidencias.

Para el despliegue del prototipo se consideran herramientas en la nube, tales como Vercel para la aplicación web y Railway para el backend y la base de datos. Además, se utilizarán GitHub y Docker como herramientas de apoyo para organizar el desarrollo, controlar versiones y facilitar la instalación del sistema.

Capa	Tecnología	Función dentro del prototipo
Frontend	Next.js	Aplicación web para técnicos, supervisores y gerencia
Lenguaje frontend	TypeScript	Reduce errores y mejora mantenibilidad
Estilos	TailwindCSS	Diseño visual rápido y estandarizado
Componentes UI	shadcn/ui	Formularios, tablas, botones, cards y modales
Formularios	React Hook Form + Zod	Captura y validación de datos
Datos frontend	TanStack Query	Consumo de API, caché y actualización de datos
Backend	Django	Lógica de negocio y administración del sistema
API	Django REST Framework	Comunicación entre frontend y backend
Base de datos	PostgreSQL 16	Repositorio histórico de servicios, activos y KPIs
Seguridad	JWT Auth + Argon2	Autenticación, autorización y protección de credenciales
Infraestructura	Docker	Ambiente reproducible
Repositorio	GitHub	Control de versiones
Hosting frontend	Vercel	Despliegue de aplicación Next.js
Hosting backend	Railway	Despliegue API Django y base de datos
Dashboard	Next.js + API + PostgreSQL	Visualización interna de KPIs, sin Power BI

Tab 7: Stack tecnológico utilizado

8.6 Módulos principales del prototipo

El prototipo funcional se estructura en seis módulos principales:

8.6.1 Módulo de acceso y usuarios

Este módulo permitirá que cada usuario ingrese al sistema mediante credenciales personales. El objetivo es asegurar que cada persona acceda únicamente a las funciones que le corresponden según su rol.

Los roles principales considerados son:

- Técnico: registra la información del servicio en terreno.
- Supervisor: revisa, aprueba o solicita correcciones.
- Administrador: gestiona mandantes, activos, usuarios y catálogos.
- Gerencia: consulta indicadores y reportes de desempeño.
- Mandante: podría consultar informes asociados a sus servicios, en una futura etapa.

Este control de acceso es importante porque permite mantener ordenada la información, proteger los datos y asegurar trazabilidad de quién registra, revisa o aprueba cada servicio.

8.6.2 Módulo de formulario digital de Hoja de Servicio

Este módulo corresponde al reemplazo directo de la Hoja de Servicio en papel. El técnico podrá completar la información del servicio mediante un formulario digital desde un dispositivo móvil o computador.

El formulario incluirá datos como:

- Número de orden o servicio.
- Fecha del trabajo.
- Mandante.
- Sitio o instalación.
- Activo intervenido.
- Tipo de mantenimiento: preventivo o correctivo.
- Técnico responsable.
- Hora de inicio y hora de término.
- Actividades realizadas.
- Falla detectada, si corresponde.
- Materiales o repuestos utilizados.
- Observaciones técnicas.
- Evidencias fotográficas.
- Firma o conformidad del mandante, si aplica.

Este formulario permitirá estandarizar el registro, evitando diferencias entre técnicos y reduciendo omisiones. Además, se podrán definir campos obligatorios para evitar que una Hoja de Servicio quede incompleta.

8.6.3 Módulo de revisión del supervisor

Una vez que el técnico complete la Hoja de Servicio digital, el supervisor podrá revisarla desde el sistema. Este módulo permitirá aprobar el registro o devolverlo para corrección si detecta información incompleta, inconsistente o insuficiente.

La revisión del supervisor permitirá asegurar la calidad de la información antes de generar el informe técnico final. Con esto se busca disminuir errores, mejorar la presentación de los documentos entregados al mandante y evitar reprocesos posteriores.

A diferencia del proceso actual, el supervisor no tendrá que transcribir manualmente la información desde papel a Word, sino que trabajará sobre los datos ya ingresados por el técnico.

8.6.4 Módulo de generación automática de documentos

Uno de los elementos principales del prototipo será la generación automática de documentos. A partir de la información registrada en el formulario digital, el sistema podrá generar dos entregables:

- Hoja de Servicio digital en PDF.
- Informe técnico al mandante en PDF.

La Hoja de Servicio contendrá el detalle operativo del trabajo ejecutado, mientras que el informe técnico tendrá un formato más formal y orientado al mandante.

El informe técnico podrá incluir:

- Datos del mandante.
- Datos del sitio.
- Datos del activo intervenido.
- Resumen del servicio.
- Diagnóstico o hallazgo.
- Actividades realizadas.
- Repuestos o materiales utilizados.
- Evidencias fotográficas.
- Recomendaciones.
- Conclusión del servicio.

Este módulo reduce de manera significativa el tiempo administrativo, ya que elimina la necesidad de construir el informe manualmente a partir de una Hoja de Servicio física.

8.6.5 Módulo de base de datos histórica

Toda la información registrada por los técnicos y supervisores quedará almacenada en una base de datos. Este repositorio permitirá construir un historial de mantenimiento por activo, mandante, técnico y periodo.

La base de datos permitirá responder preguntas como:

- ¿Cuántos servicios se realizaron a un mandante durante el mes?
- ¿Qué activo presenta mayor frecuencia de fallas?

- ¿Cuánto tiempo promedio demora una reparación?
- ¿Qué técnicos tienen mayor carga de trabajo?
- ¿Cuántos informes fueron enviados dentro de plazo?
- ¿Qué tipo de falla se repite con mayor frecuencia?

De esta forma, la base de datos se transforma en un elemento central del modelo, ya que permite pasar desde un registro documental aislado hacia una gestión basada en información histórica y analítica.

8.6.6 Módulo de dashboard web

El prototipo no utilizará Power BI para el desarrollo del dashboard. En su lugar, se propone construir un dashboard directamente dentro de la misma plataforma web.

Este dashboard permitirá visualizar los principales indicadores de mantenimiento sin depender de una herramienta externa. El usuario podrá consultar información desde el sistema, con filtros por mandante, activo, técnico, fecha o tipo de servicio.

Los indicadores considerados son:

- Total de servicios realizados.
- Servicios preventivos y correctivos.
- Cumplimiento del mantenimiento preventivo.
- Tiempo medio de reparación, MTTR.
- Tiempo medio entre fallas, MTBF.
- Backlog o trabajos pendientes.
- Cumplimiento de SLA documental.
- Productividad por técnico.
- Reprocesos documentales.
- Evidencias completas.
- Pareto de fallas por activo o mandante.

El dashboard permitirá a la organización contar con una visión más clara del desempeño del mantenimiento, facilitando la toma de decisiones basada en datos y no solo en percepciones o urgencias operacionales.

8.7 Flujo funcional del prototipo

El flujo propuesto para el prototipo es el siguiente:

1. El administrador registra mandantes, sitios y activos.
2. El supervisor crea o asigna una orden de trabajo.
3. El técnico ingresa al sistema y completa la Hoja de Servicio digital.
4. El técnico adjunta evidencias y registra horas de inicio y término.
5. El sistema valida que la información mínima esté completa.
6. El supervisor revisa el registro.
7. Si la información es correcta, aprueba la Hoja de Servicio.
8. El sistema genera automáticamente la Hoja de Servicio PDF.
9. El sistema genera automáticamente el informe técnico PDF.
10. La información queda almacenada en la base de datos.
11. El dashboard actualiza los indicadores correspondientes.

Este flujo permite reducir los tiempos de traspaso de información y mantener un historial confiable de las actividades de mantenimiento.

8.8 Planes de acción para la implementación

Para implementar el prototipo de manera ordenada, se propone un plan de acción gradual. La finalidad es validar el sistema en un entorno controlado antes de escalarlo a todos los mandantes y servicios.

8.8.1 Plan de acción propuesto

Fase	Actividad	Resultado esperado
1	Definir campos del formulario digital	Hoja de Servicio digital estandarizada
2	Cargar mandantes, sitios y activos iniciales	Base de datos inicial disponible
3	Crear roles de usuario	Accesos diferenciados por perfil
4	Desarrollar formulario digital	Registro operativo en terreno
5	Configurar validaciones	Reducción de registros incompletos
6	Generar Hoja de Servicio PDF	Documento automático operativo
7	Generar informe técnico PDF	Entregable automático al mandante
8	Construir dashboard web	Visualización de KPIs en el sistema
9	Ejecutar prueba piloto	Validación con servicios reales
10	Ajustar el prototipo	Versión mejorada para escalamiento

8.9 Plan de mejora continua

Luego de validar el prototipo, se propone aplicar un ciclo de mejora continua. Este ciclo permitirá ajustar el sistema de acuerdo con la experiencia de uso real de técnicos, supervisores y mandantes.

El ciclo propuesto considera cinco etapas:

1. Medir: registrar los servicios reales ejecutados en el sistema.
2. Analizar: revisar los indicadores generados en el dashboard.
3. Corregir: ajustar formularios, campos, reglas o flujos según las brechas detectadas.
4. Estandarizar: formalizar el procedimiento digital como nueva forma de trabajo.
5. Escalar: incorporar progresivamente nuevos mandantes, activos y funcionalidades.

Este enfoque permite que el sistema no sea una solución estática, sino una herramienta en evolución continua.

8.10 Relación con Mantenimiento 4.0 e ISO 55000

El prototipo se relaciona directamente con los principios de Mantenimiento 4.0, ya que incorpora digitalización, captura estructurada de datos, automatización documental y visualización de indicadores. Aunque no incorpora aún sensores IoT o inteligencia artificial, representa una etapa habilitante para futuras aplicaciones analíticas más avanzadas.

Asimismo, se relaciona con ISO 55000, ya que contribuye a mejorar la gestión de activos mediante información confiable, trazabilidad, control del desempeño y soporte para la toma de decisiones. El sistema permite que cada intervención de mantenimiento quede registrada y asociada a un activo, mandante, fecha, técnico y resultado, lo que fortalece la gestión del ciclo de vida de los activos.

8.11 Resultado del desarrollo: Generación automática de Hoja de Servicio e Informe Técnico en PDF

Como resultado del desarrollo del prototipo funcional, se implementó la generación automática de documentos en formato PDF para la Hoja de Servicio y el Informe Técnico. Esta funcionalidad constituye uno de los componentes principales del modelo digital propuesto, ya que permite transformar los datos registrados en el sistema en documentos formales, estandarizados y trazables, eliminando la necesidad de elaborar estos archivos manualmente.

En el proceso actual de ATingeniería, la Hoja de Servicio se completa en papel y posteriormente el supervisor debe revisar, transcribir y ordenar la información para construir el informe técnico al mandante. Esta forma de trabajo genera duplicidad de tareas, pérdida de tiempo administrativo y riesgo de inconsistencias entre la información levantada en terreno y la información finalmente entregada al cliente.

Con el prototipo desarrollado, la información se registra directamente en el sistema y queda almacenada en la base de datos. A partir de esa misma información, la plataforma genera automáticamente dos documentos: la Hoja de Servicio digital y el Informe Técnico. De esta manera, se elimina la doble digitación y se asegura que ambos documentos mantengan coherencia en sus datos principales.

8.11.1 Hoja de Servicio generada automáticamente

La Hoja de Servicio generada por el sistema cumple la función de respaldar la intervención ejecutada en terreno. Este documento contiene la información operacional básica del servicio y permite dejar constancia formal de la actividad realizada.

La Hoja de Servicio desarrollada incorpora los siguientes elementos:

- Identificación del mandante.
- Sitio o instalación donde se ejecutó el servicio.
- Activo intervenido.
- Marca y modelo del equipo.
- Correlativo de la Orden de Trabajo.
- Tipo de servicio ejecutado.
- Prioridad del servicio.
- Estado de la orden.

- Técnico asignado.
- Fecha y hora de creación, inicio y término.
- Actividades ejecutadas.
- Materiales y repuestos utilizados.
- Firma o conformidad del receptor.

El resultado obtenido permite evidenciar que la Hoja de Servicio ya no requiere ser completada, escaneada o transcrita manualmente. Al generarse desde los datos registrados en el sistema, el documento presenta un formato uniforme y permite mantener trazabilidad por mandante, sitio, activo, técnico y fecha de ejecución.

Esta funcionalidad contribuye directamente a reducir errores administrativos, mejorar la presentación documental y acelerar el cierre del servicio.

Mantenix Demo

Hoja de Servicio

OT N 1

Identificación

Mandante	EFE Valparaíso
Sitio	Estación Puerto
Activo	BFT-MOOVI-30 (Barrera automática)
Equipo	Marca BFT - Modelo Moovi 30

Datos de la orden

Correlativo	OT N 1
Tipo de servicio	MC (Mantenimiento correctivo)
Prioridad	P1 (alta)
Estado	Cerrada
Técnico asignado	Mila Torres

Tiempos

Creación	02-07-2026 15:50
Inicio	02-07-2026 15:51
Fin	02-07-2026 19:44

Actividades ejecutadas

Reparación de motor — Rodamientos dañados — Duración: 30 min

Materiales y repuestos

Código	Descripción	Cantidad
IN2033	Piñon	1

Firma del receptor



Juan Henríquez
Supervisor EFE

Fig. 6 Imagen de Hoja de Servicio desarrollada por Mantenix Software AT Ingeniería SPA

8.11.2 Informe Técnico generado automáticamente

El segundo documento desarrollado corresponde al Informe Técnico en PDF. Este informe utiliza la misma información base registrada en la Hoja de Servicio, pero incorpora un mayor nivel de detalle técnico, orientado a la comunicación formal con el mandante.

El Informe Técnico desarrollado incluye:

- Identificación completa del mandante.
- RUT del mandante.
- Sitio, dirección y comuna.
- Activo intervenido.
- Marca y modelo del equipo.
- Correlativo de la Orden de Trabajo.
- Tipo de mantenimiento ejecutado.
- Prioridad y estado del servicio.
- Técnico asignado.
- Tiempos del servicio.
- Diagnóstico de falla.
- Modo de falla.
- Causa probable.
- Severidad.
- Actividades ejecutadas.
- Materiales y repuestos utilizados.
- Costos unitarios.
- Evidencias fotográficas.

La generación automática del Informe Técnico permite entregar un documento más completo y ordenado al mandante, sin que el supervisor deba reconstruir manualmente la información desde una Hoja de Servicio física. Esto mejora la consistencia de la información, reduce tiempos administrativos y disminuye la probabilidad de errores por transcripción.

Además, la incorporación de campos como modo de falla, causa probable y severidad permite que la información técnica no quede limitada al documento final, sino que también pueda ser utilizada posteriormente para análisis de fallas, identificación de recurrencias y generación de indicadores.

Mantenix Demo

Informe Técnico

OT N 1

Identificación

Mandante

EFE Valparaíso

RUT

81.531.500-1

Síto

Estación Puerto

Dirección

Av. Errázuriz s/n

Comuna

Valparaíso

Activo

BFT-MOOVI-30 (Barra automática)

Equipo

Marca BFT - Modelo Moovi 30

Datos de la orden

Correlativo

OT N 1

Tipo de servicio

MC (Mantenimiento correctivo)

Prioridad

P1 (alta)

Estado

Cerrada

Técnico asignado

Mila Torres

Tiempos

Creación

02-07-2026 15:50

Inicio

02-07-2026 15:51

Fin

02-07-2026 19:44

Diagnostico de falla

Modo de falla

Desgaste mecánico

Causa probable

Apertura y cierre mas de lo que el motor permite

Severidad

Baja

Modo de falla

Falla eléctrica

Causa probable

se encuentran cables completamente quemados

Severidad

Media

Actividades ejecutadas

Reparación de motor

— Rodamientos dañados — Duración: 30 min

Materiales y repuestos

Código	Descripción	Cantidad	Costo unitario
IN2033	Piñon	1	23090

Evidencias

Evidencia 1



Evidencia 2



Fig. 7 Imagen de Informe Técnico desarrollada por Mantenix Software ATIngenieria SPA

Diferencia entre ambos documentos

La Hoja de Servicio y el Informe Técnico cumplen funciones complementarias dentro del modelo digital desarrollado.

La Hoja de Servicio actúa como respaldo operativo del trabajo realizado en terreno. Su enfoque está en registrar la ejecución del servicio, las actividades realizadas, los materiales utilizados y la conformidad del receptor.

El Informe Técnico, en cambio, tiene un enfoque más analítico y comunicacional. Su objetivo es presentar al mandante una explicación más completa del servicio, incorporando diagnóstico, causas probables, severidad, evidencias y recomendaciones técnicas.

Ambos documentos se generan desde la misma fuente de datos, lo que asegura consistencia, evita duplicidad y permite que la información quede disponible para análisis posteriores.

Magíster en Gestión de Activos y Mantenimiento
Universidad Técnica Federico Santa María

50

9. Validación, Justificación Económica y Conclusiones

9.1 Validación formal del modelo propuesto

La validación del modelo propuesto se realiza mediante la comparación entre el proceso actual AS-IS y el proceso futuro TO-BE, considerando los mismos indicadores definidos en la línea base del diagnóstico. Esta validación permite verificar si el modelo de digitalización responde efectivamente a los objetivos específicos de la tesina, especialmente al objetivo asociado a validar la propuesta mediante su aplicación a casos de mantenimiento representativos de AT Ingeniería SpA.

Para efectos de esta etapa, la validación se estructura sobre tres dimensiones principales: eficiencia del proceso, eficacia documental y disponibilidad de información para la toma de decisiones.

En primer lugar, desde la perspectiva de eficiencia, el proceso actual presenta un tiempo documental total de aproximadamente 51 minutos por servicio, compuesto por actividades del técnico y del supervisor. Con el modelo TO-BE digitalizado, este tiempo se proyecta en 18 minutos por servicio, principalmente asociado a validación, revisión y cierre documental. Esto representa una reducción estimada de 64,7% del tiempo documental por servicio.

En segundo lugar, desde la perspectiva de eficacia documental, el proceso actual presenta brechas asociadas a Hojas de Servicio incompletas, informes observados, evidencias extraviadas y revisitas por información insuficiente. Con la implementación del formulario digital, campos obligatorios, catálogos estandarizados y generación automática de documentos, se espera reducir la tasa de errores y mejorar el porcentaje de servicios cerrados correctamente en el primer intento.

En tercer lugar, desde la perspectiva de gestión, el modelo propuesto permite transformar la información operativa en datos estructurados. Esto habilita la construcción de indicadores como MTTR, MTBF, backlog, cumplimiento de mantenimiento preventivo, cumplimiento de SLA documental, productividad técnica y Pareto de fallas. Por lo tanto, el modelo no solo mejora el proceso documental, sino que también genera una base de información para la gestión de activos y mantenimiento.

.

Tabla de validación del modelo propuesto			
Dimensión evaluada	Situación AS-IS	Situación TO-BE esperada	Resultado de validación
Tiempo documental total	51 min/servicio	18 min/servicio	Reducción estimada de 64,7%
HH administrativas mensuales	234,42 h/mes	82,72 h/mes aprox.	Ahorro de 151,7 h/mes
Costo administrativo mensual del proceso	\$3.605.880	\$1.268.000 aprox.	Ahorro bruto de \$2.337.880/mes
Costo mensual administración plataforma	No aplica	\$550.000/mes	Costo operativo mensual del sistema
Costo mensual total TO-BE	\$3.605.880	\$1.818.000 aprox.	Ahorro neto de \$1.787.880/mes
Inversión inicial desarrollo del sistema	No aplica	\$2.550.000	Inversión única del proyecto
Hojas de Servicio incompletas	15%	5% estimado	Mejora en calidad del dato
Informes observados	8%	3% estimado	Menor reproceso documental
Evidencias extraviadas	2%	<1% estimado	Mayor trazabilidad
Disponibilidad de KPIs	Manual / parcial	Automática	Mejora significativa
Generación de HS	Manual en papel	PDF automático	Validado mediante prototipo
Generación de informe técnico	Manual / transcripción	PDF automático	Validado mediante prototipo

Tab. 8 Validación del Modelo propuesto

La validación permite concluir que el modelo propuesto cumple con el objetivo de optimizar la gestión documental del mantenimiento, ya que reduce tiempos administrativos, disminuye reprocesos, mejora la trazabilidad y habilita información estructurada para la toma de decisiones

El modelo TO-BE incorpora una inversión inicial de \$2.550.000 pesos por desarrollo del sistema y un costo mensual de administración de plataforma de \$550.000 pesos. Si bien el proceso digital proyectado reduce el costo administrativo mensual desde \$3.605.880 pesos a \$1.268.000 pesos, al incorporar el costo mensual de administración de la plataforma, el costo total mensual TO-BE se estima en \$1.818.000 pesos.

Por lo tanto, el ahorro neto mensual esperado corresponde a:

$$3.605.880 - 1.818.000 = 1.787.880$$

En consecuencia, el modelo digital mantiene una validación económica positiva, con un ahorro neto mensual estimado de \$1.787.880 pesos, además de mejoras en trazabilidad, reducción de reprocesos, generación automática de documentos y disponibilidad de KPIs.

9.2 Justificación económica del proyecto

Además de la validación operacional, se incorpora una justificación económica preliminar del proyecto, considerando el costo real de desarrollo e implementación del sistema y los ahorros estimados a partir de la comparación AS-IS versus TO-BE.

De acuerdo con los antecedentes de implementación, el desarrollo del sistema tuvo un costo de \$2.550.000 pesos. Adicionalmente, se considera un costo mensual de administración, soporte y mantención de \$550.000 pesos. Este último costo permite mantener la plataforma operativa, administrar usuarios, realizar ajustes menores, respaldar información y dar continuidad al uso del sistema.

Costos de implementación considerados		
Concepto	Tipo de costo	Monto
Desarrollo inicial del sistema	Inversión única	\$2.550.000
Administración y mantenimiento mensual	Costo mensual	\$550.000/mes

Tab. 9: Costos de implementación

9.3 Beneficio económico esperado

Según la cuantificación AS-IS versus TO-BE, el proceso digital permitiría reducir el costo administrativo mensual desde \$3.605.880 pesos a aproximadamente \$1.268.000 pesos, generando un ahorro mensual bruto estimado de:

$$\text{Ahorro bruto} = 3.605.880 - 1.268.000 = 2.337.880$$

Por lo tanto, el ahorro bruto mensual estimado es de \$2.337.880 pesos.

Al descontar el costo mensual de administración de la página, correspondiente a \$550.000 pesos, se obtiene el beneficio neto mensual:

$$\text{Beneficio neto} = 2.337.880 - 550.000 = 1.787.880$$

El beneficio neto mensual estimado del proyecto es de \$1.787.880 pesos.

Resumen económico mensual	
Concepto	Monto mensual
Ahorro bruto estimado por reducción de tiempo administrativo	\$2.337.880
Costo mensual de administración de la página	\$550.000
Beneficio neto mensual estimado	\$1.787.880

Tab. 10: Resumen Económico Mensual

9.4 Periodo de recuperación de la inversión

El periodo de recuperación permite estimar en cuánto tiempo se recupera la inversión inicial realizada en el desarrollo del sistema.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Beneficio neto mensual}}$$

$$\text{Payback} = \frac{2.550.000}{1.787.880} = 1,43 \text{ meses}$$

El resultado indica que la inversión inicial se recuperaría aproximadamente en 1,43 meses, es decir, cerca de 1 mes y medio de operación bajo los supuestos considerados.

9.5 Retorno sobre la inversión (ROI)

El retorno sobre la inversión permite estimar el beneficio económico generado durante el primer año respecto de la inversión inicial.

$$\text{Beneficio neto anual} = 1.787.880 \times 12 = 21.454.560$$

$$\text{ROI} = \frac{\text{Beneficio neto anual} - \text{Inversión inicial}}{\text{Inversión inicial}} \times 100$$

$$\text{ROI} = \frac{21.454.560 - 2.550.000}{2.550.000} \times 100$$

$$\text{ROI} = \frac{18.904.560}{2.550.000} \times 100 = 741,4\%$$

Bajo estos supuestos, el proyecto presenta un ROI estimado de 741,4% durante el primer año, lo que evidencia una alta conveniencia económica, principalmente debido a que los beneficios netos anuales superan ampliamente la inversión inicial del desarrollo del sistema.

9.6 Valor Actual Neto (VAN) preliminar

Para complementar el análisis económico, se estima el Valor Actual Neto considerando un horizonte de 12 meses, una inversión inicial de \$2.550.000 pesos, un beneficio neto mensual de \$1.787.880 pesos y una tasa de descuento anual referencial de 12%.

Bajo estos supuestos, el VAN preliminar del proyecto es aproximadamente:

$VAN \approx 17.637.876$ pesos

Un VAN positivo indica que el proyecto genera valor económico para la empresa, ya que los beneficios netos esperados superan ampliamente la inversión inicial y el costo mensual de administración de la página.

9.7 Tasa Interna de Retorno (TIR) preliminar

La Tasa Interna de Retorno se estima considerando la inversión inicial y los flujos netos mensuales del primer año. Debido a que la inversión inicial es baja en relación con los ahorros mensuales proyectados, la TIR resultante es significativamente superior a una tasa de descuento referencial.

Bajo los supuestos utilizados, la TIR mensual estimada es superior al 100%, lo que confirma que el proyecto presenta una recuperación muy rápida de la inversión. Para evitar sobreinterpretar el indicador, se recomienda utilizar la TIR solo como referencia complementaria, priorizando el análisis de payback, VAN y ahorro mensual neto.

9.8 Conclusión de la justificación económica

La justificación económica preliminar permite concluir que la implementación del sistema digital es financieramente conveniente para ATingeniería SpA. Con una inversión inicial de \$2.550.000 CLP y un costo mensual de administración de la página de \$550.000 CLP, el proyecto permite generar un beneficio neto mensual estimado de \$1.787.880 CLP, recuperando la inversión en aproximadamente 1,43 meses.

Desde el punto de vista económico, la propuesta no solo reduce costos administrativos, sino que también libera horas de técnicos y supervisores, mejora la oportunidad de entrega documental y fortalece la generación de información para la toma de decisiones. En consecuencia, el sistema desarrollado representa una alternativa viable para empresas de mantenimiento multiservicio que requieren modernizar su gestión sin incurrir en altos costos de implementación de software comercial.

Tabla resumen	
Concepto	Valor
Inversión inicial desarrollo	\$2.550.000
Costo mensual administración página	\$550.000
Ahorro bruto mensual estimado	\$2.337.880
Beneficio neto mensual	\$1.787.880
Beneficio neto anual	\$21.454.560
Payback	1,43 meses
ROI primer año	741,40%
VAN 12 meses, tasa 12% anual	\$17.637.876

Tab. 11: Resumen Justificación Económica

El desarrollo del sistema considera una inversión inicial de \$2.550.000 pesos y un costo mensual de administración de la página de \$550.000 pesos. Considerando que el ahorro bruto mensual estimado por reducción de tiempo administrativo alcanza \$2.337.880 pesos, el beneficio neto mensual del proyecto sería de \$1.787.880 pesos.

La inversión inicial se recuperaría en aproximadamente 1,43 meses, lo que evidencia una recuperación rápida del capital invertido. Asimismo, el beneficio neto anual estimado alcanza \$21.454.560 pesos, con un ROI anual aproximado de 741,4%. Considerando una tasa de descuento anual referencial de 12%, el VAN preliminar a 12 meses se estima en \$17.637.876 pesos, lo que indica que el proyecto genera valor económico positivo para ATingeniería SpA.

9.9 Conclusiones finales

La presente tesina permitió diseñar y validar un Modelo de Digitalización y Analítica para optimizar la gestión de mantenimiento en ATingeniería SpA, integrando la generación de Hojas de Servicio, informes técnicos y KPIs operacionales.

A partir del diagnóstico AS-IS, se evidenció que el proceso actual presenta una alta dependencia del papel, transcripción manual, envío de evidencias por canales no estructurados y revisión administrativa por parte del supervisor. Esta situación genera reprocesos, atrasos documentales, pérdida de trazabilidad y dificultad para obtener indicadores confiables de mantenimiento.

La cuantificación realizada permitió estimar que, con 250 servicios mensuales, el proceso manual consume aproximadamente 234,42 horas administrativas al mes, generando una pérdida mensual estimada de \$4.071.380 pesos y una pérdida anual aproximada de \$48.856.560 pesos. Estos valores reflejan que el problema no es solo documental, sino también económico y operacional.

El diseño TO-BE propuesto permite capturar la información una sola vez en terreno, generar automáticamente la Hoja de Servicio y el Informe Técnico, almacenar los datos en una base estructurada y actualizar KPIs por activo y mandante. Con ello, se elimina la doble digitación y se mejora la trazabilidad del mantenimiento.

El prototipo desarrollado demuestra que el modelo es aplicable a la realidad de ATingeniería SpA, ya que considera formulario digital, generación automática de PDF, base de datos, dashboard web y control de usuarios. Además, permite transformar cada servicio ejecutado en información útil para la gestión y la toma de decisiones.

La validación del modelo muestra una reducción del tiempo documental desde 51 minutos por servicio a 18 minutos por servicio, equivalente a una mejora estimada de 64,7%. Asimismo, las horas administrativas mensuales bajarían desde 234,42 h/mes a 82,72 h/mes, liberando tiempo de técnicos y supervisores para actividades de mayor valor.

Desde el punto de vista económico, el proyecto presenta una evaluación favorable. Considerando una inversión inicial de \$2.550.000 pesos y un costo mensual de administración de \$550.000 pesos, se estima un beneficio neto mensual de \$1.787.880 pesos, con recuperación de la inversión en aproximadamente 1,43 meses.

Finalmente, se concluye que la digitalización del flujo Hoja de Servicio–Informe Técnico–KPIs no representa solo una mejora documental, sino una herramienta de eficiencia,

control y gestión. El modelo propuesto permite reducir reprocesos, mejorar la calidad del dato, fortalecer la trazabilidad y habilitar una gestión de mantenimiento basada en información confiable, alineada con los principios de Mantenimiento 4.0 e ISO 55000.

10 Bibliografía

1. **International Organization for Standardization. (2018).** *ISO 55002:2018 Asset management — Management systems — Guidelines for the application of ISO 55001*. ISO.
2. **International Organization for Standardization. (2024).** *ISO 55000:2024 Asset management — Vocabulary, overview and principles*. ISO.
3. **International Organization for Standardization. (2024).** *ISO 55001:2024 Asset management — Asset management system — Requirements*. ISO.
4. **International Organization for Standardization. (2024).** *ISO 55011:2024 Asset management — Guidance for the development of public policy to enable asset management*. ISO.
5. **International Organization for Standardization. (2024).** *ISO/TS 55010:2024 Asset management — Guidance on the alignment of financial and non-financial functions in asset management*. ISO.
6. **Martinetti, A., Demichela, M., Singh, S., Soares, G. M., & Castro Silva, J. (2020).** Maintenance 4.0: Where are we? A systematic literature review. En *Applications and challenges of maintenance and safety engineering in Industry 4.0*. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-3904-0.ch001>
7. **Muchiri, P., Pintelon, L., Gelders, L., & Martin, H. (2011).** Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 295–302. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.039>
8. **Parida, A., & Kumar, U. (2006).** Maintenance performance measurement (MPM): Issues and challenges. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 12(3), 239–251. <https://doi.org/10.1108/13552510610685084>
9. **Romero, L. F., & Arce, A. (2017).** Applying value stream mapping in manufacturing: A systematic literature review. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 1075–1086. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.385>
10. **Serrano Lasa, I., Ochoa Laburu, C., & De Castro Vila, R. (2008).** An evaluation of the value stream mapping tool. *Business Process Management Journal*, 14(1), 39–52. <https://doi.org/10.1108/14637150810849391>

11 Anexos

11.1 Hoja de Servicio en Papel

 **AT Ingenieria**

ORDEN DE MANTENIMIENTO
Nº 000080

ATINGENIERIA SPA.
76.797.637-2
SERVICIOS DE INGENIERIA Y MANTENIMIENTO
JORGE KERNICK 780 BG 9C SAN ROQUE VALPARAISO
FONO: +56988031825
AT.INGENIERIA.SPA@GMAIL.COM

NOV :embre 2025

CLIENTE: UN: MORA SANTO DOMINGO

DIRECCION: AV. EL GOLF 06

CONTACTO: _____

MANTENCION PREVENTIVA ☒

MANTENCION CORRECTIVA ☐

EQUIPO INTERVENIDO Generador

DETALLE: Se Realiza mantenimiento al equipo de Combustible, Aceite, filtro de Aceite, filtro combustible y Revisión completa al equipo.

MATERIAL UTILIZADO: 1 filtro de aceite, 1 filtro de combustible, 1 litro de aceite.

OBSERVACIÓN CLIENTE: _____

Imprenta 1177 Express - 32 223 6726 - imprenta1177@gmail.com


FIRMA CLIENTE

FIRMA RESPONSABLE


FIRMA TECNICO

11.2 Hoja de Servicio PDF Digital

Mantenix Demo

Hoja de Servicio

OT N 1

Identificacion

Mandante	EFE Valparaíso
Sitio	Estación Puerto
Activo	BFT-MOOVI-30 (Barrera automática)
Equipo	Marca BFT · Modelo Moovi 30

Datos de la orden

Correlativo	OT N 1
Tipo de servicio	MC (Mantenimiento correctivo)
Prioridad	P1 (alta)
Estado	Cerrada
Tecnico asignado	Mila Torres

Tiempos

Creacion	02-07-2026 15:50
Inicio	02-07-2026 15:51
Fin	02-07-2026 19:44

Actividades ejecutadas

Reparación de motor — Rodamientos dañados — Duracion: 30 min

Materiales y repuestos

Codigo	Descripcion	Cantidad
IN2033	Piñon	1

Firma del receptor



Juan Henriquez
Supervisor EFE

11.3 Informe Técnico

Mantenix Demo

Informe Tecnico

OT N 1

Identificacion

Mandante	EFE Valparaíso
RUT	61.531.500-1
Sitio	Estación Puerto
Dirección	Av. Errázuriz s/n
Comuna	Valparaíso
Activo	BFT-MOOVI-30 (Barrera automática)
Equipo	Marca BFT - Modelo Moovi 30

Datos de la orden

Correlativo	OT N 1
Tipo de servicio	MC (Mantenimiento correctivo)
Prioridad	P1 (alta)
Estado	Cerrada
Técnico asignado	Mila Torres

Tiempos

Creación	02-07-2026 15:50
Inicio	02-07-2026 15:51
Fin	02-07-2026 19:44

Diagnostico de falla

Modo de falla	Desgaste mecánico
Causa probable	Apertura y cierre mas de lo que el motor permite
Severidad	Baja
Modo de falla	Falla eléctrica
Causa probable	se encuentran cables completamente quemados
Severidad	Media

Actividades ejecutadas

Reparación de motor — Rodamientos dañados — Duración: 30 min

Materiales y repuestos

Código	Descripción	Cantidad	Costo unitario
IN2033	Piñon	1	23990

Evidencias



Evidencia 1



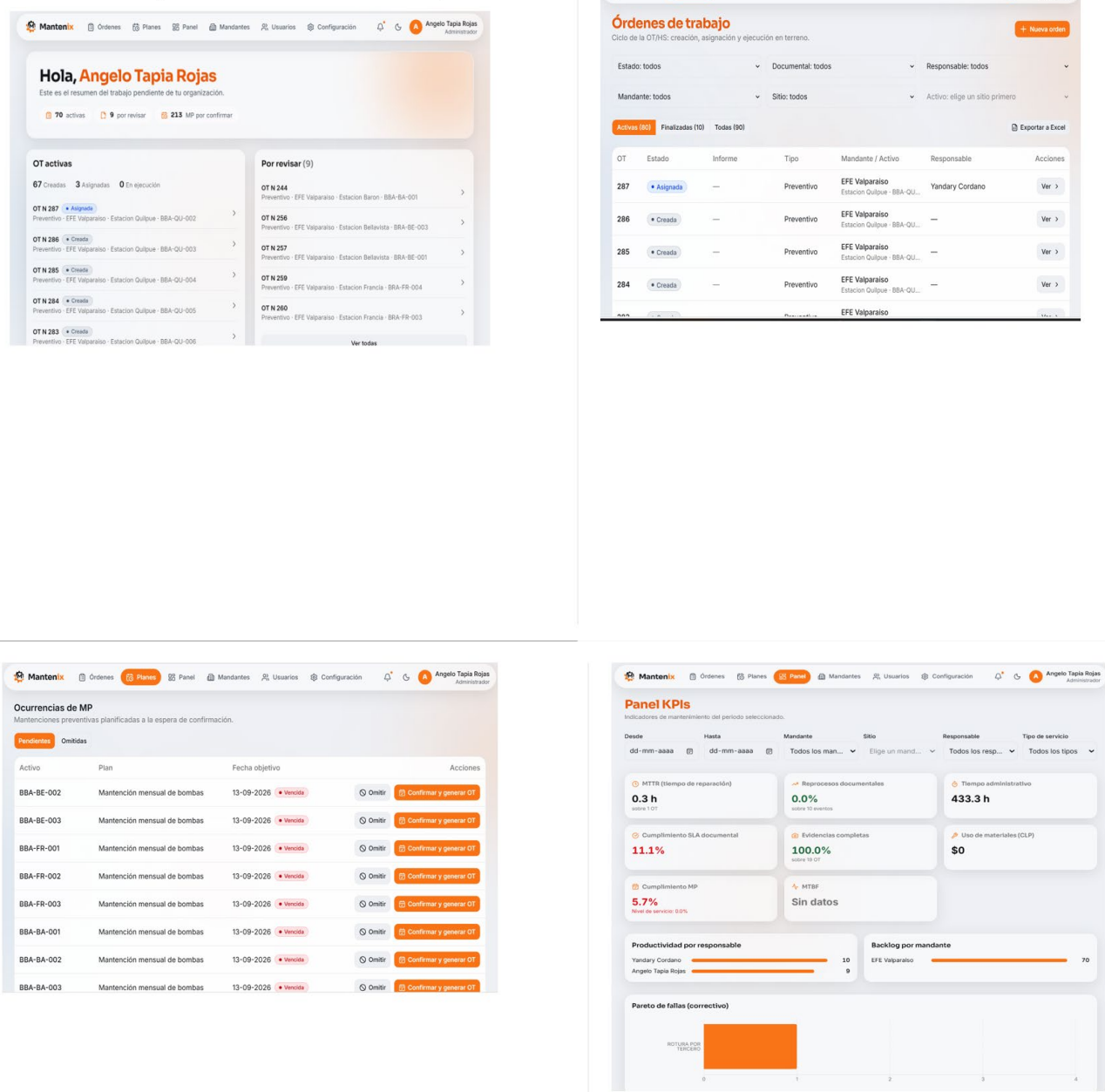
Evidencia 2

Magíster en Gestión de Activos y Mantenimiento
Universidad Técnica Federico Santa María

63

11.4 Plataforma Software Mantenix

Imágenes de la Plataforma Mantenix



Final del documento