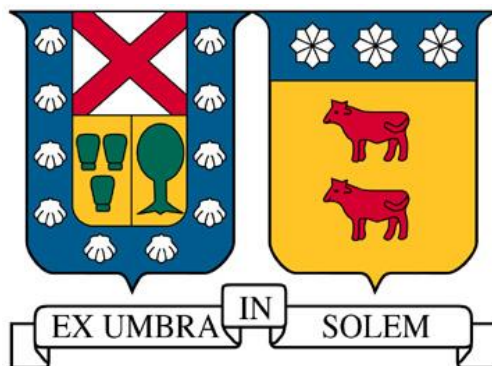


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
VALPARAÍSO – CHILE



“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA CMMS PARA LA GESTIÓN
DEL MANTENIMIENTO, MONITOREO DE ACTIVOS E
INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO EN MAQUINARIA
FORESTAL Y PESADA DE SERFOCOL S.A.”

Nicolás Sebastián Díaz Oyarce

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

PROFESOR GUÍA: SR. FREDY KRISTJANPOLLER

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: Implementación de un sistema CMMS para la gestión del mantenimiento, monitoreo de activos e indicadores clave de desempeño en maquinaria forestal y pesada de SERFOCOL S.A.

Nombre del candidato(a): Nicolas Diaz Oyarce

Carrera / Grado: Magíster en Gestión de Activos y Mantenimiento

Campus: Campus Santiago, Vitacura Departamento: Industrias

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Fredy Kristjanpoller Rodriguez, 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 (marcar una opción)

☒ 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 (marcar una opción):

☐ 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: 23/10/2026

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 21/10/2026

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.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco profundamente a mi mujer por su apoyo incondicional en cada uno de los desafíos que me he propuesto. Su constante motivación me ha impulsado a seguir adelante y a superarme día a día, siendo un pilar fundamental en mi vida y en cada una de las metas que tengo por delante.

Agradezco también a mi madre y a mis hermanos, quienes han estado presentes en cada etapa de mi formación, brindándome su apoyo, confianza y aliento para continuar creciendo profesionalmente.

Asimismo, agradezco a Serfocol S.A. por las facilidades, los recursos y el apoyo brindados para cursar este programa de magíster, así como por la confianza depositada al permitirme desarrollar este trabajo en torno a un proceso estratégico para la compañía.

Finalmente, y no menos importante, me agradezco a mí mismo por la perseverancia y el compromiso de no rendirme ante las dificultades, y por proponerme metas que en ocasiones parecían lejanas, pero que he perseguido con fe y constancia.

Resumen ejecutivo

El presente trabajo tiene como objetivo principal la implementación de un software especializado en gestión del mantenimiento (CMMS, por sus siglas en inglés) en la empresa Serfocol S.A., con el propósito de optimizar la planificación, ejecución, seguimiento y control de las actividades de mantenimiento en sus distintas plantas o faenas operativas.

La incorporación de esta solución tecnológica busca centralizar, sistematizar y digitalizar la información operacional relacionada con la gestión de activos, permitiendo el acceso en tiempo real a datos relevantes y estructurados que faciliten la trazabilidad de las tareas realizadas, el historial de mantenimiento, la gestión de repuestos y la programación de intervenciones preventivas y correctivas.

Además, se contempla el diseño e implementación de indicadores clave de rendimiento (KPI) específicamente alineados con la naturaleza del negocio de Serfocol, dedicado al servicio logístico integral de movimiento de madera y sus derivados. Estos indicadores permitirán medir de forma objetiva la eficiencia, disponibilidad, confiabilidad y costos asociados a la operación y mantenimiento de los activos, entregando herramientas analíticas que respaldan la toma de decisiones estratégicas y operativas.

Este proyecto tiene un enfoque orientado a la mejora continua, permitiendo a Serfocol no solo fortalecer sus procesos internos de mantenimiento, sino también incrementar la vida útil de sus activos, reducir tiempos de inactividad no programada y mejorar la rentabilidad de sus operaciones. En definitiva, la implementación del CMMS y los KPI seleccionados contribuirán significativamente a consolidar la sostenibilidad y competitividad de la empresa en el largo plazo, reafirmando su compromiso con la excelencia operacional y la entrega de un servicio logístico de alta calidad para con sus clientes.

Abstract

The main objective of this project is to implement a specialized maintenance management software (CMMS) at Serfocol S.A., with the goal of optimizing the planning, execution, monitoring, and control of maintenance activities at its various plants or operating sites.

The incorporation of this technological solution seeks to centralize, systematize, and digitize operational information related to asset management, enabling real-time access to relevant and structured data that facilitates the traceability of tasks performed, maintenance history, spare parts management, and the scheduling of preventive and corrective interventions.

In addition, the project includes the design and implementation of key performance indicators (KPIs) specifically aligned with Serfocol's business, which provides comprehensive logistics services for the movement of wood and its derivatives. These indicators will allow for objective measurement of the efficiency, availability, reliability, and costs associated with asset operation and maintenance, providing analytical tools that support strategic and operational decision-making.

This project is focused on continuous improvement, allowing Serfocol not only to strengthen its internal maintenance processes but also to increase the useful life of its assets, reduce unscheduled downtime, and improve the profitability of its operations. Ultimately, the implementation of the CMMS and the selected KPIs will significantly contribute to consolidating the company's long-term sustainability and competitiveness, reaffirming its commitment to operational excellence and providing a high-quality logistics service to its customers.

Índice

1	Introducción.....	8
2	Descripción de la problemática	9
3	Objetivos	12
3.1	Objetivo general	12
3.2	Objetivos específicos.....	12
4	Marco teórico	14
4.1	¿Qué es la gestión del mantenimiento?.....	14
4.2	¿Qué es un software de mantenimiento o CMMS?	14
4.3	Tipos de CMMS.....	15
4.4	Principales ventajas y desventajas de un CMMS	15
4.4.1	Ventajas y beneficios de implementar un CMMS.....	16
4.4.2	Desventajas y desafíos de implementar un CMMS.....	16
4.5	Indicadores de mantenimiento.....	17
4.5.1	Indicadores de proceso	17
4.5.2	Indicadores estratégicos.....	18
4.5.3	Indicadores de resultados.....	19
5	Desarrollo del tema	20
5.1	Diagnóstico inicial de la plataforma de gestión de mantenimiento	20
5.2	Definición del CMMS a utilizar (Fractal).....	23
5.2.1	Criterios a evaluar	23
5.2.2	Tipos de CMMS evaluados.....	25
5.3	Recopilación de información.....	26
5.4	Implementación de Fractal One.....	28
5.4.1	Planificación del proyecto	29

5.4.2	Preparación de datos/migración	31
5.4.3	Configuración e implementación.....	36
5.5	Capacitar al personal técnico y administrativo	41
5.5.1	Metodología de capacitación	41
5.6	Diseñar y determinar indicadores clave de mantenimiento	45
5.6.1	Indicadores estratégicos.....	45
5.6.2	Indicadores de proceso	49
5.6.3	Indicadores de resultados.....	52
5.7	Monitorear y analizar los resultados obtenidos	54
5.8	Proponer mejoras y escalamiento del sistema.....	55
6	Conclusiones	57
7	Bibliografía.....	59

Índice de ilustraciones

Ilustración 1	Mapa de flujo del Capítulo 5	20
Ilustración 2	Servicio técnico.....	21
Ilustración 3	Órdenes de trabajo, Servicio Técnico	22
Ilustración 4	Visualización orden de trabajo	23
Ilustración 5	Fractal.....	25
Ilustración 6	SAP PM.....	25
Ilustración 7	Infor EAM.....	25
Ilustración 8	Fractal One	28
Ilustración 9	Plan de trabajo.....	29
Ilustración 10	Roles de equipo	29
Ilustración 11	Gestión del cambio, de Servicio Técnico a Fractal One	30
Ilustración 12	Activos Serfocol	32
Ilustración 13	Disco virtual	33
Ilustración 14	Listado de planes.....	33
Ilustración 15	Planes de tarea.....	35

Ilustración 16 Listado de planes de tarea.....	35
Ilustración 17 Estructura de zonas geográficas en Fracttal One	37
Ilustración 18 Ficha de configuración de un activo en Fracttal One.....	37
Ilustración 19 Tablero de órdenes de trabajo por etapa en Fracttal One.....	39
Ilustración 20 Listado de planes de mantenimiento cargados en Fracttal One.....	40
Ilustración 21 Capacitación personal técnico	44

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Disponibilidad mecánica.....	46
Ecuación 2 Disponibilidad mecánica porcentual	46
Ecuación 3 Disponibilidad operacional.....	46
Ecuación 4 Disponibilidad operacional porcentual	47
Ecuación 5 Cumplimiento de órdenes de trabajo	47
Ecuación 6 Cumplimiento de presupuesto	48
Ecuación 7 Confiabilidad	49
Ecuación 8 Confiabilidad porcentual	49
Ecuación 9 MTTR.....	50
Ecuación 10 Ocupación	50
Ecuación 11 Cumplimiento de órdenes de trabajo mensual.....	50
Ecuación 12 Backlog	51
Ecuación 13 MTBF	52
Ecuación 14 Cumplimiento del programa preventivo	52
Ecuación 15 Cumplimiento de presupuesto	53

Índice de tablas

Tabla 1 Criterios de evaluación para la selección del CMMS.....	23
Tabla 2 Aplicación del modelo ADKAR en la implementación de Fracttal One.....	31
Tabla 3 Inventario de activos de Serfocol por tipo de equipo	31
Tabla 4 Evolución de los indicadores de mantenimiento	54

1 Introducción

El mantenimiento refleja un constante desarrollo y perfeccionamiento de prácticas dirigidas a asegurar la eficiencia, eficacia y perdurabilidad de equipos, infraestructuras y sistemas. A lo largo del tiempo, el mantenimiento ha evolucionado desde intervenciones simples y correctivas, centradas en la reparación de herramientas y estructuras, hasta convertirse en una disciplina estratégica dentro de las organizaciones modernas, clave para la productividad y la competitividad en un mundo industrializado y digitalizado. La revolución industrial marcó un hito en esta evolución, impulsando la necesidad de métodos sistemáticos y científicos de mantenimiento para abordar la complejidad de los nuevos procesos mecanizados. A partir de allí, conceptos como el mantenimiento preventivo, predictivo y centrado en la confiabilidad (RCM) tomaron fuerza, llevando al mantenimiento más allá de las reparaciones de emergencia para adoptar enfoques que optimizan la disponibilidad de los activos, reducen costos y mejoran la seguridad operativa. Esta evolución suele describirse en generaciones sucesivas, que van desde el mantenimiento correctivo hasta enfoques basados en la confiabilidad y el riesgo (Moubray, 1997).

En la actualidad, el mantenimiento se apoya en indicadores clave que permiten evaluar el desempeño de las estrategias implementadas y tomar decisiones informadas. Entre estos indicadores destacan el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), el Tiempo Medio para Reparación (MTTR), la disponibilidad de equipos y el costo de mantenimiento. Estos indicadores, junto con herramientas de software y tecnologías avanzadas, permiten a las empresas no solo mantener sus activos en condiciones operativas óptimas, sino también anticipar posibles fallos y programar intervenciones antes de que ocurran, mejorando así la eficiencia global de la operación.

El mantenimiento hoy no solo se basa en la reacción ante fallas, sino que se ha transformado en un proceso proactivo y predictivo, ayudando a las organizaciones a maximizar el retorno de sus inversiones en activos y garantizar una operación continua y confiable.

2 Descripción de la problemática

Serfocol S.A. es una empresa chilena con una trayectoria de más de 46 años en el sector logístico, especializada en el movimiento y manipulación de madera y sus derivados. Fundada en 1978, la compañía ha experimentado un crecimiento sostenido y escalable, consolidando su presencia en cinco regiones del país y posicionándose como un actor clave en la cadena de suministro forestal e industrial.

En línea con su compromiso con la eficiencia, la seguridad y la excelencia operativa, Serfocol S.A. ofrece una amplia gama de servicios orientados a la logística industrial y forestal, entre los que se incluyen:

Movimiento de rollizos de madera a través de grúas manipuladoras: Operaciones especializadas en el traslado eficiente y seguro de troncos y rollizos dentro de faenas forestales e industriales.

Servicio de logística operacional y manejo de grandes patios de madera: Administración integral de patios industriales, incluyendo recepción, clasificación, almacenamiento y despacho de madera en bruto.

Movimiento de astillas y biomasa de madera: Transporte y manipulación de astillas y residuos forestales para uso energético o industrial, cumpliendo con altos estándares de eficiencia y sustentabilidad.

Servicio de movimiento de materiales con cargadores frontales en plantas industriales del rubro forestal: Operación de maquinaria pesada para el desplazamiento de materiales en procesos productivos del sector forestal.

Movimiento de graneles industriales, portuarios o minerales: Gestión de carga a granel, ya sea en plantas productivas, terminales portuarios o faenas mineras, optimizando tiempos y recursos.

Movimiento de productos terminados dentro de plantas industriales: Transporte y distribución interna de productos listos para despacho o empaque, garantizando la trazabilidad y el cuidado de la mercancía.

Servicio de movimiento de paquetes de productos al interior de plantas productivas: Operaciones precisas y seguras para la manipulación y traslado de paquetes, cumpliendo con los requerimientos logísticos de cada línea de producción.

Este desarrollo ha sido integral, abarcando tanto la expansión de su cartera de clientes como la firma de nuevos contratos, lo que ha derivado en un aumento significativo en su dotación de personal, parque de maquinaria y complejidad operativa. Como resultado, la compañía ha incursionado progresivamente en la adopción de nuevas tecnologías, herramientas digitales y metodologías orientadas a la mejora continua y a la entrega de un servicio logístico de alto estándar.

En este contexto de evolución constante, se ha vuelto fundamental la implementación de soluciones tecnológicas que permitan gestionar de forma eficiente la información asociada al mantenimiento de activos, específicamente el trabajo realizado por técnicos mecánicos en las distintas faenas operativas. La correcta recopilación, registro y análisis de esta información es crucial para una gestión moderna de activos físicos.

Históricamente, Serfocol utilizaba un sistema de mantenimiento obsoleto, con limitadas capacidades de análisis, interfaz poco amigable y sin posibilidad de obtener datos en tiempo real. Esta situación dificultaba la visibilidad operativa, la trazabilidad de las órdenes de trabajo y la toma de decisiones basada en datos.

Frente a estas limitaciones, la organización tomó la decisión estratégica de migrar a un sistema CMMS (Computerized Maintenance Management System) moderno, flexible y alineado con las necesidades específicas del negocio. El nuevo sistema debía permitir no solo el seguimiento detallado de las tareas de mantenimiento ejecutadas, sino también el registro de repuestos utilizados, tiempos de ejecución, costos asociados y otros indicadores clave para una gestión de mantenimiento eficiente.

Actualmente, Serfocol cuenta con una fuerza laboral compuesta por aproximadamente 1.000 colaboradores distribuidos en las distintas faenas de sus clientes, así como con una flota de más de 300 equipos móviles. Entre estos activos destacan manipuladores madereros, cargadores frontales, bulldozers, tractores y montacargas, los cuales requieren un mantenimiento riguroso, documentado y eficiente para garantizar la continuidad operacional.

La decisión de adoptar un CMMS de nueva generación responde a la necesidad de contar con una herramienta robusta, intuitiva y escalable que facilite la gestión integral de activos y contribuya a elevar los estándares de calidad, eficiencia y confiabilidad en los procesos de mantenimiento.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Implementar un software de gestión del mantenimiento, junto con indicadores clave de rendimiento (KPI), que permita optimizar la gestión de activos, mejorar la trazabilidad de las actividades de mantenimiento y apoyar la toma de decisiones estratégicas en la empresa Serfocol S.A.

3.2 Objetivos específicos

- ❖ Diagnosticar el estado actual del sistema de mantenimiento en Serfocol S.A.
 - Levantar información de los procesos actuales de mantenimiento e identificar debilidades en el registro, control y trazabilidad.
 - Detectar necesidades tecnológicas y operativas.
- ❖ Seleccionar o desarrollar un software de gestión del mantenimiento (CMMS).
 - Evaluar opciones tecnológicas disponibles en el mercado, comparando funcionalidad, requerimientos tecnológicos y costos.
 - Validar compatibilidad con otros sistemas existentes en la empresa.
- ❖ Diseñar indicadores clave de rendimiento (KPI) aplicables a mantenimiento.
 - Determinar KPI relevantes (MTBF, MTTR, disponibilidad, costos).
 - Definir parámetros de control, frecuencia de medición y responsables.
- ❖ Implementar el sistema de mantenimiento y los KPI en una unidad piloto.
 - Ejecutar una prueba piloto en una faena seleccionada.
 - Ajustar el sistema según retroalimentación y resultados preliminares.
- ❖ Capacitar al personal técnico y administrativo en el uso del sistema.
 - Realizar jornadas de capacitación y pruebas de uso.
 - Elaborar manuales y protocolos de operación.

- ❖ Monitorear y analizar los resultados de la implementación.
 - Realizar seguimiento periódico de los KPI definidos.
 - Recoger retroalimentación de los usuarios.
- ❖ Proponer mejoras y planificar escalamiento del sistema.
 - Diseñar una estrategia para implementar el sistema a nivel corporativo.
 - Proponer una política de mantenimiento basada en datos.

4 Marco teórico

4.1 ¿Qué es la gestión del mantenimiento?

Se puede definir como el proceso lógico y secuencial de diferentes actividades, las cuales colaboran en la planificación, programación, ejecución, control y supervisión de tareas relacionadas con el mantenimiento de equipos, instalaciones y/o industrias, con la finalidad de asegurar el correcto y buen funcionamiento de cada uno de los elementos, equipos y procesos, para prolongar y mantener su vida útil maximizando recursos y minimizando tiempos de inactividad. En términos normativos, la gestión del mantenimiento comprende las actividades de la dirección que determinan los objetivos, la estrategia y las responsabilidades del mantenimiento, y que se llevan a cabo mediante su planificación, control y mejora (Asociación Española de Normalización [UNE], 2018).

“La gestión del mantenimiento consiste en planificar, organizar, dirigir y controlar los recursos necesarios para mantener los activos físicos en condiciones que permitan cumplir su función de manera eficiente y segura.” (Smith y Hawkins, 2004)

Complementando lo anterior, Viveros et al. (2013) proponen un modelo de gestión del mantenimiento de carácter cíclico, estructurado en siete etapas y orientado a la mejora continua, que integra herramientas de apoyo como los indicadores clave de desempeño y los sistemas CMMS.

4.2 ¿Qué es un software de mantenimiento o CMMS?

CMMS es la abreviación, por sus siglas en inglés, de Computerized Maintenance Management System, es decir, sistema computarizado de gestión de mantenimiento. Este ha sido definido por diversos autores, los cuales señalan que es una herramienta que está diseñada para recopilar información de una serie de actividades en particular de mantenimiento para realizar gestión con respecto a los activos, su disponibilidad y confiabilidad, entre otros indicadores.

“Un Sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora (CMMS) está diseñado para automatizar los procesos estandarizados, recopilar datos históricos y analizarlos rápidamente. Esta herramienta proactiva, cuando se implementa y utiliza correctamente, proporciona información oportuna y precisa para la toma de decisiones en el ámbito operativo y de mantenimiento.” (Bertolini, 2014)

Terry Wireman señala lo siguiente respecto de los CMMS:

“Un CMMS es una base de datos computarizada de información sobre mantenimiento que ayuda a los técnicos y gerentes a realizar un seguimiento de todas las actividades de mantenimiento dentro de una organización.” (Wireman, 1994)

4.3 Tipos de CMMS

En la actualidad, los Sistemas de Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora (CMMS) presentan una amplia diversidad de enfoques y configuraciones, lo que permite su clasificación bajo distintos criterios. Estos sistemas pueden categorizarse según el tipo de implementación (local, en la nube o híbrido), el modelo de mantenimiento que soportan (correctivo, preventivo, predictivo, entre otros), el sector industrial al que se orientan, así como en función de su nivel de funcionalidad, diseño de interfaz, escalabilidad y arquitectura tecnológica. Esta variedad responde a la necesidad de adaptar las soluciones CMMS a los requerimientos específicos de cada organización y entorno operativo.

4.4 Principales ventajas y desventajas de un CMMS

En la actualidad, y con los avances tecnológicos, utilizar herramientas computacionales, software y hardware es cada vez más imprescindible en el desarrollo constante de cualquier tipo de industria y campo, por lo que cada vez es más claro que las ventajas de utilizarlas están en constante crecimiento con respecto a sus desventajas; no obstante, estas siempre se encuentran presentes, ya sea en su implementación o en su utilización. A continuación, se detallan algunas ventajas y desventajas de usar un CMMS.

4.4.1 Ventajas y beneficios de implementar un CMMS

La implementación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora (CMMS) ofrece múltiples beneficios que optimizan la gestión del mantenimiento en las organizaciones. Entre sus principales ventajas se destacan:

- ❖ Centralización y trazabilidad de la información
- ❖ Mejora en la planificación y programación de tareas
- ❖ Gestión eficiente de inventarios
- ❖ Reducción de tiempos de respuesta y ejecución
- ❖ Acceso a datos desde distintos dispositivos
- ❖ Soporte a la toma de decisiones mediante indicadores y reportes
- ❖ Aumento de la vida útil de los activos
- ❖ Cumplimiento normativo y legal
- ❖ Mayor eficiencia operativa general

Estos beneficios dependen en gran medida de que los requerimientos del sistema se definan adecuadamente antes de su implementación, considerando los procesos, los usuarios y la información que la organización necesita gestionar (Lopes et al., 2016).

4.4.2 Desventajas y desafíos de implementar un CMMS

A pesar de los múltiples beneficios que ofrece un Sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora (CMMS), su implementación conlleva también una serie de desafíos técnicos, económicos y organizacionales que deben ser considerados cuidadosamente durante el proceso de adopción.

- ❖ Alto costo inicial de implementación
- ❖ Necesidad de capacitación constante
- ❖ Resistencia al cambio organizacional
- ❖ Dependencia tecnológica
- ❖ Riesgo de implementación ineficiente

4.5 Indicadores de mantenimiento

Los indicadores son herramientas fundamentales para medir el desempeño de tareas, procesos o parámetros específicos dentro de una organización. En el ámbito del mantenimiento, su función es aún más relevante, ya que permiten monitorear, evaluar y optimizar los diferentes procesos asociados a la gestión de activos físicos. A través de los indicadores, es posible obtener información objetiva que facilite la toma de decisiones informadas, orientadas a mejorar la eficiencia, la confiabilidad y la disponibilidad de los equipos. A nivel normativo, la norma UNE-EN 15341:2019 establece un conjunto de indicadores clave de rendimiento para evaluar la gestión del mantenimiento (UNE, 2019).

Los indicadores clave de mantenimiento pueden clasificarse en tres grandes grupos o familias, según su enfoque y nivel de aplicación:

- ❖ Indicadores de proceso
- ❖ Indicadores estratégicos
- ❖ Indicadores de resultados

Cada grupo contiene métricas específicas que, ya sea de forma integrada o independiente, permiten identificar oportunidades de mejora y evaluar la efectividad de las estrategias implementadas en la gestión del mantenimiento. Esta clasificación es coherente con la propuesta de Muchiri et al. (2011), quienes distinguen entre indicadores de proceso (leading), que monitorean la ejecución de las actividades de mantenimiento, e indicadores de resultado (lagging), que reflejan sus efectos sobre el desempeño de los activos. A su vez, Parida y Kumar (2006) destacan la necesidad de medir el desempeño del mantenimiento en los niveles estratégico, táctico y operacional de la organización.

4.5.1 Indicadores de proceso

Este grupo de indicadores mide la eficiencia y eficacia de los procesos operativos internos del área de mantenimiento. Su uso es frecuente en el control diario o semanal, permitiendo el seguimiento del desempeño del personal técnico y la ejecución de los planes establecidos.

Ejemplos de indicadores de proceso:

- ❖ MTTR (Mean Time To Repair) o Tiempo medio de reparación: mide el tiempo promedio requerido para restaurar un equipo tras una falla.
- ❖ Cumplimiento de órdenes de trabajo: porcentaje de órdenes ejecutadas en el plazo previsto.
- ❖ Tiempo de respuesta ante averías: intervalo entre la notificación de la falla y el inicio de la intervención.
- ❖ Porcentaje de mantenimiento preventivo ejecutado a tiempo: mide el grado de adherencia al plan preventivo establecido.

4.5.2 Indicadores estratégicos

Los indicadores estratégicos están alineados con los objetivos corporativos y de negocio. Su propósito es evaluar la eficacia global de la gestión de mantenimiento a largo plazo, proporcionando datos clave para la toma de decisiones a nivel directivo o gerencial.

Ejemplos de indicadores estratégicos:

- ❖ Disponibilidad operativa, mecánica o global (OEE): refleja el porcentaje de tiempo en que los activos están disponibles para operar eficientemente.
- ❖ Costo total de mantenimiento: relación del gasto en mantenimiento con respecto al valor de los activos o las ventas.
- ❖ MTBF (Mean Time Between Failures) o Tiempo medio entre fallas: mide la confiabilidad de los equipos.
- ❖ Índice de cumplimiento del plan de mantenimiento: porcentaje del plan anual o mensual que fue ejecutado según lo programado.
- ❖ Ratio mantenimiento preventivo vs. correctivo: evalúa el equilibrio entre enfoques proactivos y reactivos de mantenimiento.

4.5.3 Indicadores de resultados

Estos indicadores permiten medir el impacto directo del mantenimiento sobre los activos, la producción y los resultados del negocio. Reflejan las consecuencias y beneficios derivados de la implementación de políticas, estrategias y buenas prácticas en el área de mantenimiento.

Ejemplos de indicadores de resultados:

- ❖ Reducción del tiempo de parada no planificada: disminución del tiempo perdido por intervenciones correctivas imprevistas.
- ❖ Reducción del número de fallas: disminución de incidentes por equipos fuera de servicio.
- ❖ Incremento de la disponibilidad de equipos: mayor tiempo efectivo de operación.
- ❖ Reducción de costos de mantenimiento: optimización de recursos y disminución de gastos operativos.
- ❖ Reducción del inventario de repuestos críticos: mejora en la planificación de recursos y gestión de almacenes.

El uso adecuado de indicadores clave en la gestión de mantenimiento permite no solo medir el desempeño operativo, sino también alinear los esfuerzos del área con los objetivos estratégicos de la organización. La correcta interpretación y análisis de estos indicadores facilita la mejora continua, la reducción de costos, el aumento de la confiabilidad de los activos y, en última instancia, una mayor competitividad empresarial.

5 Desarrollo del tema

Este capítulo desarrolla, en el mismo orden en que fueron planteados los objetivos específicos, el proceso completo de transformación del sistema de mantenimiento de Serfocol: desde el diagnóstico de la plataforma anterior y la selección e implementación de Fractal One (5.1 a 5.4), hasta la capacitación del personal (5.5), el diseño de los indicadores clave de gestión (5.6) y el posterior monitoreo de resultados y propuestas de mejora (5.7 y 5.8).

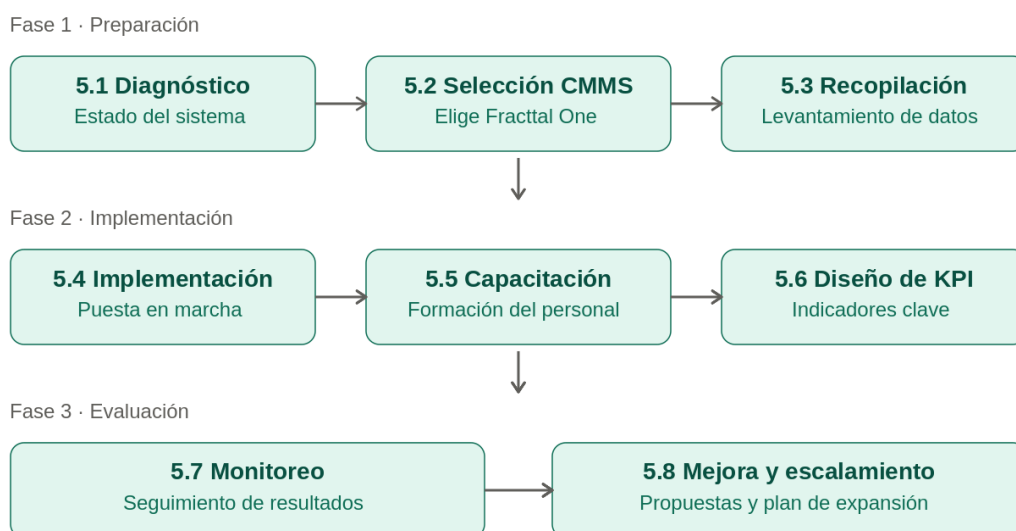


Ilustración 1 Mapa de flujo del Capítulo 5

5.1 Diagnóstico inicial de la plataforma de gestión de mantenimiento

En primer lugar, el diagnóstico inicial se realizó a partir del análisis de la herramienta computacional que se venía utilizando hasta ese momento. Esta plataforma no puede ser categorizada formalmente como un CMMS (Computerized Maintenance Management System) ni como un software especializado en gestión de mantenimiento. Más bien, se trataba de una base de datos rudimentaria, cuyo propósito principal era almacenar información relativa a los trabajos ejecutados por los distintos técnicos y/o mecánicos de la organización. Adicionalmente, esta herramienta contenía pautas y procedimientos asociados a los diferentes activos y tareas programadas.



Ilustración 2 Servicio técnico

Entre las principales limitaciones detectadas, destaca su restricción de conectividad: el acceso debía realizarse de manera directa a través de la red interna de la compañía, es decir, únicamente desde dispositivos conectados al mismo servidor o infraestructura local. Esta dependencia imposibilitaba el acceso remoto o desde otras ubicaciones, reduciendo significativamente la flexibilidad operativa.

En cuanto al registro de actividades, este operaba más como una bitácora manual que como un sistema dinámico de gestión. Las cantidades y elementos a intervenir en cada orden de trabajo estaban previamente definidos en las pautas. Esto generaba un problema en caso de desviaciones en la ejecución real: si un componente no era reemplazado o si la cantidad utilizada difería de lo planificado, el sistema no permitía modificar dicha información. La única alternativa era registrar observaciones en forma de comentarios, lo que limitaba la trazabilidad efectiva de los cambios operacionales.

Trabajar con Ordenes de Trabajo										Inicio Volver Cargar Excel Ayuda											
Sucursal	Tono	Type	Ubicación	Todas	Modalidad	Todas	Estado	Todas													
Nº O.T.	0	Nº Convenio		Todas	Actividad																
Cliente	-0	/0			☐ Consolidado	Ingreso Desde	//	Hasta	//												
A Facturar	-0	/0			☐ Consolidado	Entrega Desde	//	Hasta	//												
Vendedor	-0	/0																			
Encargado	-0	/0																			
PATENTE				MARCA		VER/Ocultar		Consulta de Precios													
				TIPO		MODELO		PROPIETARIO													
<input checked="" type="button"/> Nueva Ir a Solicitudes Ir a Devoluciones Rptos. Pendiente Rever. OT Cerrada // Recepción Cliente																					
#	Icono	Sucursal	Nº Orden	Nº Cotización	Ingreso	Término Est.	Entrega	Estado	Est. Proceso	Tipo	Ubicación	Facturable	Cliente	Sec. Nombre	Código PATENTE	Nº Convenio	Contacto	Lista Encargado	Sec. Nombre	Actividad	Total Monto
☒		Teno	1		02/11/2017	08/11/2017		Cerrada	En Proceso	Externa	Taller	No Facturable	58	158	TENO 2012		0 JORGE ORMAZABAL	018410418	Q'ALVAREZ PROVOSTE MIGUEL ANGEL	ACTIVIDAD DE ALTA DE EQUIPO	0.00
☒		Teno	2		07/12/2017	07/12/2017		Cerrada	En Proceso	Externa	Taller	No Facturable	58	158	TENO 2012		0 JORGE ORMAZABAL	018410418	Q'ALVAREZ PROVOSTE MIGUEL ANGEL	PRIMERA MANTENCIÓN	0.00
☒		Teno	3		02/01/2018	02/01/2018		Cerrada	En Proceso	Externa	Taller	No Facturable	58	158	TENO BROCT-8		0 JORGE ORMAZABAL	018410418	Q'ALVAREZ PROVOSTE MIGUEL ANGEL	MTTO. CORRECTIVA HIDRÁULICO	0.00
☒		Teno	4		29/11/2017	29/11/2017		Cerrada	PROCESO TERMINADO	Externa	Taller	No Facturable	58	158	TENO 2013		0 JORGE ORMAZABAL	018410418	Q'ALVAREZ PROVOSTE MIGUEL ANGEL	ACTIVIDAD DE ALTA DE EQUIPO	0.00
☒		Teno	5		28/11/2017	28/11/2017		Cerrada	En Proceso	Externa	Taller	No Facturable	58	158	TENO 2014		0 JORGE ORMAZABAL	018410418	Q'ALVAREZ PROVOSTE MIGUEL ANGEL	ACTIVIDAD DE ALTA DE EQUIPO	0.00
☒		Teno	6		29/11/2017	29/11/2017		Cerrada	PROCESO TERMINADO	Externa	Taller	No Facturable	58	158	TENO 2015		0 JORGE ORMAZABAL	018410418	Q'ALVAREZ PROVOSTE MIGUEL ANGEL	ACTIVIDAD DE ALTA DE EQUIPO	0.00
☒		Teno	7		29/11/2017	29/11/2017		Cerrada	PROCESO TERMINADO	Externa	Taller	No Facturable	58	158	TENO 2016		0 JORGE ORMAZABAL	018410418	Q'ALVAREZ PROVOSTE MIGUEL ANGEL	ACTIVIDAD DE ALTA DE EQUIPO	0.00
☒		Teno	8		29/11/2017	29/11/2017		Cerrada	En Proceso	Externa	Taller	No Facturable	58	158	TENO 2017		0 JORGE ORMAZABAL	018410418	Q'ALVAREZ PROVOSTE MIGUEL ANGEL	ACTIVIDAD DE ALTA DE EQUIPO	0.00
☒		Teno	9		01/11/2017	01/11/2017		Cerrada	PROCESO TERMINADO	Externa	Taller	No Facturable	58	158	TENO 2009		0 JORGE ORMAZABAL	018410418	Q'ALVAREZ PROVOSTE MIGUEL ANGEL	ACTIVIDAD DE ALTA DE EQUIPO	0.00
☒		Teno	10		01/11/2017	01/11/2017		Cerrada	En Proceso	Externa	Taller	No Facturable	58	158	TENO 2010		0 JORGE ORMAZABAL	018410418	Q'ALVAREZ PROVOSTE MIGUEL ANGEL	ACTIVIDAD DE ALTA DE EQUIPO	0.00
☒		Teno	11		01/11/2017	01/11/2017		Cerrada	PROCESO TERMINADO	Externa	Taller	No Facturable	58	158	TENO 2011		0 JORGE ORMAZABAL	018410418	Q'ALVAREZ PROVOSTE MIGUEL ANGEL	ACTIVIDAD DE ALTA DE EQUIPO	0.00
☒		Teno	12		06/12/2017	06/12/2017		Cerrada	PROCESO TERMINADO	Externa	Taller	No Facturable	58	158	TENO JSRS45-7		0 JORGE ORMAZABAL	016336019	ORMAZABAL, CABELLO JORGE EDUARDO PRIMERA MANTENCIÓN		0.00
☒		Teno	13		01/11/2017	01/11/2017		Cerrada	PROCESO TERMINADO	Externa	Taller	No Facturable	58	158	TENO ZDSCS-8		0 JORGE ORMAZABAL	016336019	ORMAZABAL, CABELLO JORGE EDUARDO ACTIVIDAD DE ALTA DE EQUIPO		0.00
☒																					

Ilustración 3 Órdenes de trabajo, Servicio Técnico

Además, la plataforma presentaba una interfaz poco intuitiva, dificultando la navegación y el análisis de la información. No contaba con funcionalidades para exportar o descargar los datos en formatos utilizables (como Excel o CSV), lo que obligaba al personal a realizar procesos manuales de extracción, organización y análisis posterior, con la consecuente pérdida de tiempo y riesgo de errores.

La plataforma, que respondía al nombre de “Servicio Técnico”, resultaba insuficiente para responder a las necesidades actuales de la organización en cuanto a eficiencia operativa, trazabilidad, análisis de datos y conectividad. Estas limitaciones fueron determinantes en la toma de decisión institucional para migrar a una herramienta más robusta e integrada, como un CMMS que permitiera una gestión sistematizada, colaborativa y accesible desde múltiples entornos.

Visualizar Orden de Trabajo				Cargar	Imprimir	Ayuda
Orden N°	13	Sucursal	Teno	No Facturable	Dsc. Maquina JZDG52-8 GRÚA LIEBHERR A924B	
Lista	0Sin Lista de Precio	Fecha Ing.	01/11/2017	Especificación GRÚA LIEBHERR A924B		
Entrega	/ / Mes Garantía 0	Vcto. Garantía	/ /	PATENTE JZDG52-8		
Ubicación	Taller N° Convenio 0	Tipo Externa	N° Pedido 0	TIPO	GRUA	GRUA
Cliente	58 -2/1 58 TENO			SERIE	WLHZ150JZK064392	
Contacto	JORGE ORMAZABAL			MARCA	LIEBHERR	LIEBHERR
A Facturar	58 -2 /1 58 TENO			MODELO	A924B	A924B
Vendedor	1 -6 /0 ASCENCIO ELGUETA NESTOR OSVALDO			PROPIETARIO	SERFOCOL LEASING	SERFOCOL LEASING
MECANICO	16336019 -5 /0 ORMAZABAL CABELLO JORGE EDUARDO			HOROMETRO	5528	
Fono-Sol. por	Fax-Sol. por0			N° REPORTE		
Ubicación Eq.	TENO			Total M.O.	0,00	Total Neto 0,00
Nota	ALTA DE EQUIPO EN SISTEMA			Total Gastos	0,00	Total Dcto. 0,00
Actividad	ACTIVIDAD DE ALTA DE EQUIPO	Valor Neto	0,00	Total Rep./Ins.	0,00	Monto Afecto 0,00
				Total Serv. 3os	0,00	Total Iva 0,00
				Monto Total 0,00		
Estado Cerrada						

Mano de Obra	Otros Gastos	Repuesto/Insu	Servicio de 3eros	Kilometraje	Componentes
--------------	--------------	---------------	-------------------	-------------	-------------

M.O.	Desc.	Q Hrs.	Hora Efectiva	Hora Extra	Hora Festivo	Inicio	Paridad	Total Origen	Total Local
------	-------	--------	---------------	------------	--------------	--------	---------	--------------	-------------

Ilustración 4 Visualización orden de trabajo

A partir de las limitaciones detectadas en el diagnóstico anterior, el paso siguiente consistió en definir qué sistema CMMS reemplazaría a la plataforma “Servicio Técnico”.

5.2 Definición del CMMS a utilizar (Fractal)

Primero que todo, al momento de definir el CMMS a utilizar se evaluaron diferentes factores o agentes, los cuales fueron determinantes para la compañía. Como ya se ha mencionado, lo más importante es la funcionalidad y la integridad del CMMS: que sea robusto, con una estructura sólida, pero sencillo de retroalimentar y utilizar; que sea amigable e intuitivo para los usuarios, y que nos permita un gran poder de análisis y cohesión con otras áreas, pero que, al mismo tiempo, sea asequible en cuanto a su costo de implementación y de mantenibilidad.

5.2.1 Criterios a evaluar

Tabla 1 Criterios de evaluación para la selección del CMMS

- | | |
|-----------------|----------------------|
| ❖ Funcionalidad | ❖ Crecimiento |
| ❖ Usabilidad | ❖ Conectividad |
| ❖ Flexibilidad | ❖ Integración |
| ❖ Costo | ❖ Análisis y reporte |

Los criterios utilizados para la selección del sistema CMMS más adecuado para nuestra compañía se fundamentaron principalmente en cuatro aspectos clave, previamente mencionados, los cuales fueron considerados como los más relevantes por su alta incidencia en el proceso de toma de decisiones.

En primer lugar, se evaluó la funcionalidad del sistema, priorizando su capacidad de adaptación a las necesidades operativas específicas de la organización. Esto incluyó la compatibilidad con el tipo y criticidad de los activos gestionados, el alineamiento con las pautas y procedimientos de mantenimiento establecidos, y su adecuación al modelo de negocio vigente, entre otros factores técnicos.

El segundo criterio, de igual o mayor relevancia, fue el costo total del sistema. En este aspecto se consideraron todos los componentes financieros asociados a la implementación del CMMS, incluyendo los costos de adquisición, instalación, licenciamiento, capacitación del personal, mantenimiento del sistema y soporte técnico post-implementación. Esta visión integral del costo permitió una estimación más realista del retorno sobre la inversión (ROI) asociado a cada alternativa evaluada.

El tercer y el cuarto criterio estuvieron orientados a las capacidades de análisis, generación de reportes y al nivel de integración que el sistema pudiera ofrecer. Particularmente, se valoró la capacidad del CMMS para entregar información analítica en tiempo real sobre el estado y rendimiento de los activos, permitiendo una toma de decisiones más eficiente basada en datos. Asimismo, se consideró crítica su capacidad de integrarse con otros sistemas empresariales existentes, tales como ERP de recursos humanos, finanzas o contabilidad, garantizando así una interoperabilidad fluida entre plataformas y una visión unificada de la gestión de activos a nivel organizacional.

5.2.2 Tipos de CMMS evaluados

Los CMMS evaluados fueron los siguientes:

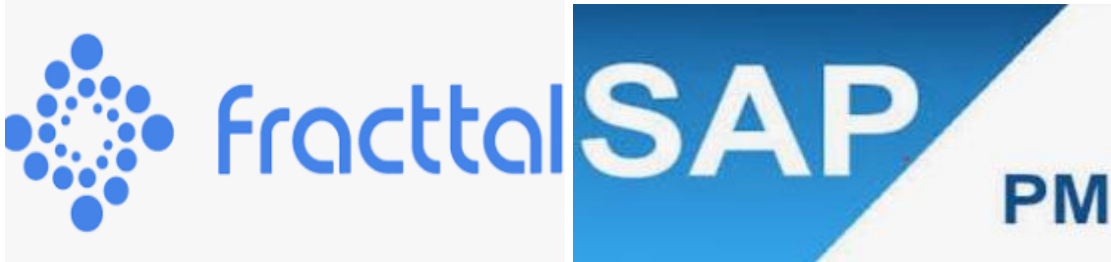


Ilustración 5 Fractal

Ilustración 6 SAP PM



Ilustración 7 Infor EAM

Tanto SAP PM como Infor EAM se posicionan como soluciones de clase empresarial, caracterizadas por su alta robustez funcional y su capacidad de adaptación a estructuras organizacionales complejas. No obstante, uno de los factores limitantes en su consideración fue su elevado costo total de propiedad, lo cual representaba una barrera significativa para nuestra compañía en términos de inversión inicial, mantenimiento y requerimientos de soporte especializado.

En contraste, la decisión final se orientó hacia la implementación de Fractal One, un CMMS de origen chileno-español que ha estado disponible en el mercado desde el año 2015. Esta plataforma, si bien es relativamente reciente, ha demostrado una rápida adaptación en diversas industrias, sectores productivos y diferentes negocios, destacando por su flexibilidad, enfoque intuitivo y menor costo comparativo frente a soluciones de mayor escala. Asimismo, su funcionalidad se alineó adecuadamente con los requerimientos

específicos de nuestra operación, haciendo de Fracttal One una alternativa estratégica viable tanto en términos técnicos como económicos.

Una vez seleccionado Fracttal One como el CMMS a implementar, el siguiente desafío fue reunir y depurar la información que alimentaría el sistema.

5.3 Recopilación de información

La recopilación de información representó un proceso complejo que requirió una estrecha colaboración entre el Departamento de Mantenimiento Corporativo y los distintos contratos o faenas operativas. Aunque, en teoría, todos los equipos de mantenimiento trabajaban bajo un mismo plan general, en la práctica, las metodologías de ejecución no eran completamente homogéneas a nivel corporativo.

Si bien existían procedimientos, pautas y lineamientos definidos, su aplicación variaba entre faenas debido a factores como experiencias operativas previas, aprendizajes empíricos y particularidades propias de cada contrato. Es decir, las labores de mantenimiento eran ejecutadas activamente por técnicos y mecánicos en terreno, pero no necesariamente bajo un estándar común replicable en toda la organización.

La mayor parte de la información crítica se encontraba almacenada en la antigua plataforma denominada “Servicio Técnico”, que funcionaba esencialmente como un repositorio estático, similar a un bloc de notas digital. Esta herramienta permitía la consulta de datos, pero no facilitaba la edición, actualización ni trazabilidad de los registros. El resto de la documentación se encontraba dispersa entre contratos, principalmente en formatos PDF, documentos Word, y planillas Excel, lo que dificultaba la consolidación y estandarización de la información.

El principal desafío consistía en centralizar y depurar esta información para estructurar una base de datos robusta y única, que sirviera como insumo confiable para la implementación de un sistema CMMS (Computerized Maintenance Management System). Este sistema debía contener de manera clara, ordenada y estandarizada todos los procesos, tareas, procedimientos y pautas de mantenimiento de los activos operacionales.

Es importante destacar que la compañía opera una flota diversa compuesta por equipos de múltiples marcas, tales como Liebherr, Caterpillar, Komatsu, Volvo, John Deere, Linde, Hyster, Sennebogen y Mantsinen, entre otras. Esta diversidad agrega un nivel adicional de complejidad, ya que cada fabricante establece diferentes pautas de mantenimiento y periodicidades específicas.

Históricamente, el sistema “Servicio Técnico” fue alimentado de forma descentralizada y sin criterios normalizados. Cada jefe de faena o encargado subía información según su propio criterio, sin una estructura definida, lo que generó inconsistencias y redundancias a lo largo del tiempo. A medida que la organización fue creciendo e incrementando contratos, dotación de personal y parque de maquinaria se hizo evidente la necesidad de profesionalizar no solo los procesos de mantenimiento, sino también la gestión documental asociada.

En ese contexto, el enfoque inicial de mantenimiento reflejaba un equilibrio 50/50 entre acciones preventivas y correctivas, con intervenciones programadas mayoritariamente en función del avance del horómetro y con una baja integración de inspecciones sistemáticas. Hoy, con la migración a un CMMS moderno y la estandarización de la información, se busca avanzar hacia un modelo de mantenimiento planificado, trazable y basado en datos, que mejore la disponibilidad de los activos, la eficiencia operativa y la toma de decisiones estratégicas.

Con la información centralizada y depurada, se dio inicio a la implementación propiamente tal de Fractal One, la cual comprendió la planificación del proyecto, la gestión del cambio, la migración de datos y la configuración del sistema. Cabe señalar que esta implementación se ejecutó, en una primera etapa, en una zona particular de la compañía, correspondiendo a la prueba piloto planteada entre los objetivos específicos de este trabajo, a partir de la cual se daría curso posteriormente al escalamiento del sistema hacia el resto de la organización, tal como se detalla en la sección 5.8.

5.4 Implementación de Fractal One



Ilustración 8 Fractal One

5.4.1 Planificación del proyecto

5.4.1.1 Plan de trabajo (cronograma)

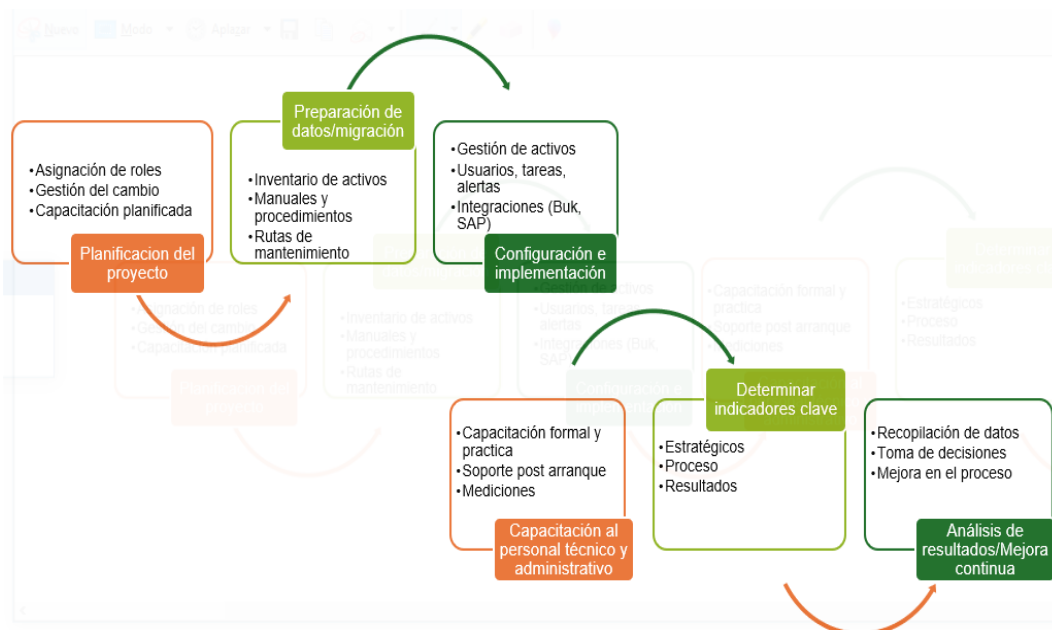


Ilustración 9 Plan de trabajo

5.4.1.2 Asignación de roles del equipo (interno y externo)

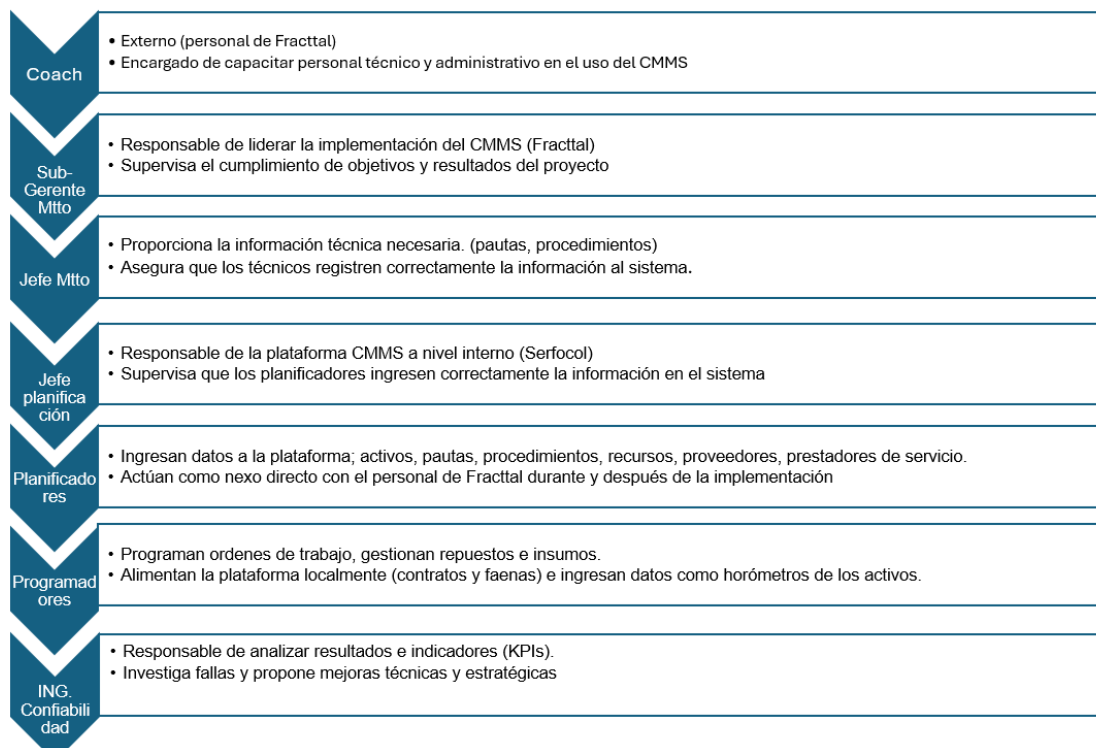


Ilustración 10 Roles de equipo

5.4.1.3 Gestión del cambio

La gestión del cambio organizacional es un proceso estratégico que busca facilitar la transición desde un estado actual hacia uno deseado, promoviendo la adopción efectiva de nuevas herramientas, procesos, estructuras o comportamientos dentro de una organización. Kotter (1996) plantea que este proceso requiere crear un sentido de urgencia, formar una coalición que lo lidere y comunicar con claridad la visión del cambio.

Este proceso representa un desafío considerable, ya que, por naturaleza, muchas personas pueden mostrar resistencia al cambio, ya sea por temor a lo desconocido, pérdida de control, falta de información o simple apego a la forma en que tradicionalmente se han hecho las cosas.

Por ello, la gestión del cambio no se limita únicamente a comunicar una transformación, sino que requiere un trabajo constante de sensibilización, formación y acompañamiento. Es necesario identificar a los actores clave, entender sus inquietudes, y aplicar estrategias que fomenten su participación en el proceso. El objetivo es que los colaboradores comprendan el propósito del cambio, se sientan parte de este y se comprometan con los resultados esperados.



Ilustración 11 Gestión del cambio, de Servicio Técnico a Fractal One

Una implementación efectiva de este proceso permite alinear al equipo humano con los objetivos del proyecto, facilitando su adopción, minimizando la resistencia y fortaleciendo el compromiso colectivo. Esto, a su vez, se traduce en una mayor eficiencia operativa,

simplificación de procesos, mejora en la productividad y, finalmente, en la obtención de resultados sostenibles en el tiempo.

En este caso se utilizó la herramienta ADKAR, modelo desarrollado por Hiatt (2006), que plantea que el cambio organizacional se logra cuando cada persona transita por cinco etapas sucesivas: conciencia, deseo, conocimiento, habilidad y refuerzo.

Tabla 2 Aplicación del modelo ADKAR en la implementación de Fractal One

Etapas	Objetivo	Acción realizada
Awareness (Conciencia)	Crear conciencia del porqué del cambio	Charlas, capacitaciones, comunicados, webinars, reuniones
Desire (Deseo)	Generar deseo de participar y apoyar el cambio	Motivar, mostrar beneficios personales y grupales, incentivar
Knowledge (Conocimiento)	Entregar conocimientos para cambiar	Capacitación, materiales, herramientas computacionales, equipos
Ability (Habilidad)	Asegurar que puedan hacerlo correctamente	Coaching, soporte, inspección, feedback
Reinforcement (Refuerzo)	Reforzar que el cambio se mantenga	Seguimiento, reconocimientos, KPIs

5.4.2 Preparación de datos/migración

5.4.2.1 Inventario de activos

Tabla 3 Inventario de activos de Serfocol por tipo de equipo

Inventario de activos	
Cargadores frontales	101
Remolques	80
Grúas manipuladoras	62
Montacargas	61
Tractores	27
Tracto terminal	8
Camión batea	3
Bulldozer	1



Ilustración 12 Activos Serfocol

5.4.2.2 Historial de mantenimiento

El historial de mantenimiento de los activos anteriores al año 2023 se encuentra registrado en la plataforma denominada Servicio Técnico. A partir de dicha fecha, se optó por dar continuidad al seguimiento de cada activo desde la última orden de trabajo registrada en el sistema anterior. Es decir, si bien el nuevo sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) no contiene la trazabilidad completa de la vida útil de todos los activos, sí mantiene una secuencia cronológica continua desde el último evento documentado.

En contraste, los activos que fueron incorporados o adquiridos con posterioridad al año 2023 sí cuentan con un historial completo desde su puesta en marcha, incluyendo toda la información relevante relacionada con su operación y mantenimiento, la cual se encuentra integrada exclusivamente en el nuevo CMMS.

Es importante destacar que la empresa opera bajo contratos de largo plazo, con vigencias de seis y siete años, dependiendo del cliente. Como resultado de la renovación de muchos de los 22 contratos existentes, aproximadamente un 40% de los activos conservan información en ambas plataformas, lo que implica una gestión dual del historial de mantenimiento para dichos equipos.

La decisión de implementar esta estrategia se fundamenta, entre otros factores, en el hecho de que una parte importante de los activos fue programada para quedar obsoleta durante los años 2023 y 2024. Esto conllevó no solo la renovación de equipos, sino también el

reinicio de los registros de horómetros, marcando así un nuevo ciclo operativo y de mantenimiento para los activos renovados.

5.4.2.3 Manuales, pautas y planos

La incorporación de manuales y planos al sistema se realizó mediante dos métodos: importación automática y carga manual, siendo esta última la más utilizada en el proceso. No obstante, la plataforma Fractal ofrece la funcionalidad de carga masiva de datos, lo cual permitió estructurar y organizar carpetas completas por activo, facilitando así la integración eficiente de la documentación técnica.

Toda la información fue alojada en el módulo de disco virtual del CMMS, como se ilustra en la figura correspondiente. En este repositorio digital se encuentran disponibles: manuales de operación, planos técnicos, rutinas de mantenimiento, pautas recomendadas y otros documentos relevantes. Esta documentación ha sido respaldada tanto por las especificaciones del fabricante según lo establecido en sus respectivos manuales como por el conocimiento técnico acumulado a lo largo de los años de operación con equipos de las mismas marcas y características.

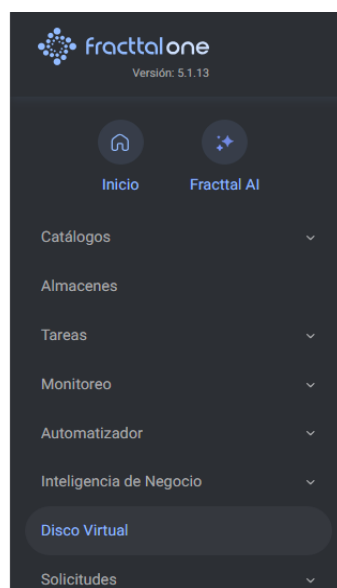


Ilustración 13 Disco virtual

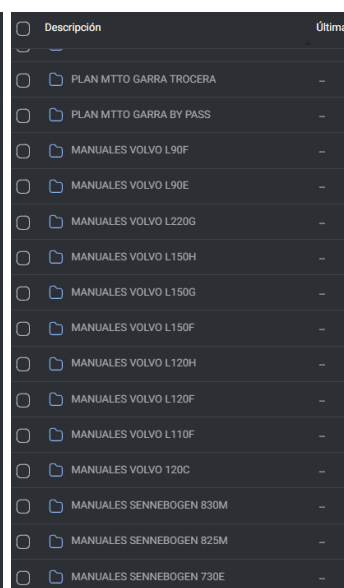


Ilustración 14 Listado de planes

5.4.2.4 Rutinas de mantenimiento y planes de tarea

Las rutinas de mantenimiento, junto con sus respectivas tareas, provienen en su mayoría de las recomendaciones del fabricante, lo cual representa una ventaja significativa, ya que facilita tanto su documentación como su posterior ejecución. Al igual que las pautas, planos y procedimientos técnicos, estas rutinas cuentan con una sección específica dentro del CMMS, denominada “Tareas”.

En este módulo es posible gestionar distintos elementos clave, tales como los planes de tareas, órdenes de trabajo y presupuestos asociados. Una vez estructurada esta información, los roles de planificación y programación pueden asignar planes de tareas previamente configurados a los distintos activos del sistema. Estos planes están predefinidos según las características técnicas y operativas de cada activo, ya que, aunque algunos equipos pueden compartir tareas similares, no existen dos activos con requerimientos exactamente idénticos.

Cada activo posee un conjunto determinado de planes de tareas asignados inicialmente; sin embargo, esto no limita la posibilidad de incorporar nuevas tareas en función de las necesidades operativas, fallas observadas o estrategias de mejora continua. Esta capacidad de adaptación constituye una de las ventajas del sistema Fractal, ya que permite actualizar y enriquecer la información en tiempo real, promoviendo así una gestión dinámica y flexible del mantenimiento.

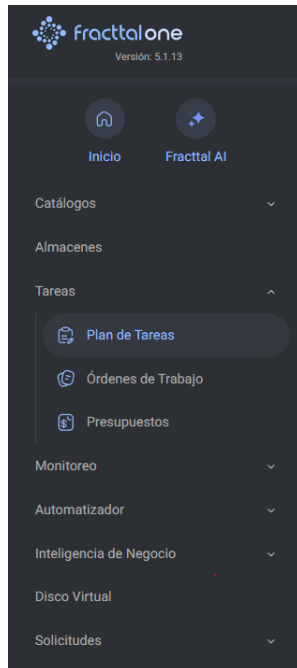


Ilustración 15 Planes de tarea

Tareas			
Plan de Tareas			
☐ Descripción	Tareas asociadas	Activos vinculados	Limitar Acceso a Esta Localización
☐ EVENTOS MAESTROS	42	1	// OFICINA CENTRAL/
☐ EVENTOS MAESTROS CF	24	0	// OFICINA CENTRAL/
☐ EVENTOS MAESTROS GH	27	0	// OFICINA CENTRAL/
☐ EVENTOS MAESTROS GM	28	0	// OFICINA CENTRAL/
☐ EVENTOS MAESTROS INSTALACIONES	3	0	// OFICINA CENTRAL/
☐ EVENTOS MAESTROS TTR	24	0	// OFICINA CENTRAL/
☐ PLAN DE MANTENIMIENTO CAMION SCANIA P400	26	3	// SERFOCOL/ ZONA COSTA MAULE/ FASA/
☐ PLAN DE MANTENIMIENTO CF VOLVO L150G 3028	31	1	// SERFOCOL/ ZONA LOS ANGELES/ BUCALEMU/
☐ PLAN DE MANTENIMIENTO CF VOLVO L150G 3037	16	1	// SERFOCOL/ ZONA LOS ANGELES/ BUCALEMU/
☐ PLAN DE MANTENIMIENTO CF VOLVO L150H 3100	32	1	// SERFOCOL/ ZONA COSTA MAULE/ CONSTITUCION/
☐ PLAN DE MANTENIMIENTO CF VOLVO L220G	32	1	// SERFOCOL/ ZONA COSTA MAULE/ CONSTITUCION/
☐ PLAN DE MANTENIMIENTO CM BUS HYUNDAI COUNTY 29DLX	5	1	// SERFOCOL/ ZONA GOLFO ARAUCO/ MAPA/

Ilustración 16 Listado de planes de tarea

5.4.2.5 Repuestos y proveedores

Resultó fundamental incorporar al sistema la totalidad de los repuestos que Serfocol mantiene en sus distintas bodegas, correspondientes a diferentes marcas y proveedores. Esta incorporación permite ejercer un control efectivo del inventario y asociar cada orden

de trabajo con los repuestos e insumos utilizados en la intervención de cada activo. Asimismo, al vincular las cantidades y los precios de estos ítems, es posible determinar con precisión el costo total de cada trabajo y el consumo de repuestos asociado a cada activo. De manera complementaria, la creación de los proveedores de servicios dentro del sistema permite cargar a las órdenes de trabajo los distintos recursos requeridos —ya sean humanos, servicios adicionales, repuestos o cotizaciones—, centralizando así toda la información relevante para la gestión del mantenimiento. Este proceso se desarrolló de manera paulatina y minuciosa, incorporando cada repuesto junto con su código maestro interno de Serfocol y su código o número de parte del fabricante, además del valor del servicio por hora-hombre (HH) correspondiente a cada proveedor, en función del tipo de trabajo a realizar.

5.4.3 Configuración e implementación

5.4.3.1 Configuración de activos, usuarios, tareas, alertas, KPIs

La configuración de los activos se realizó, en primer lugar, a partir del inventario levantado previamente. Cada activo fue cargado al sistema junto con sus características principales —marca, modelo, número de serie y centro de costo (código interno asignado por la compañía)— y posteriormente clasificado de acuerdo con la labor que realiza, la zona geográfica en la que se encuentra y el contrato al que pertenece, tal como se aprecia en las ilustraciones siguientes.

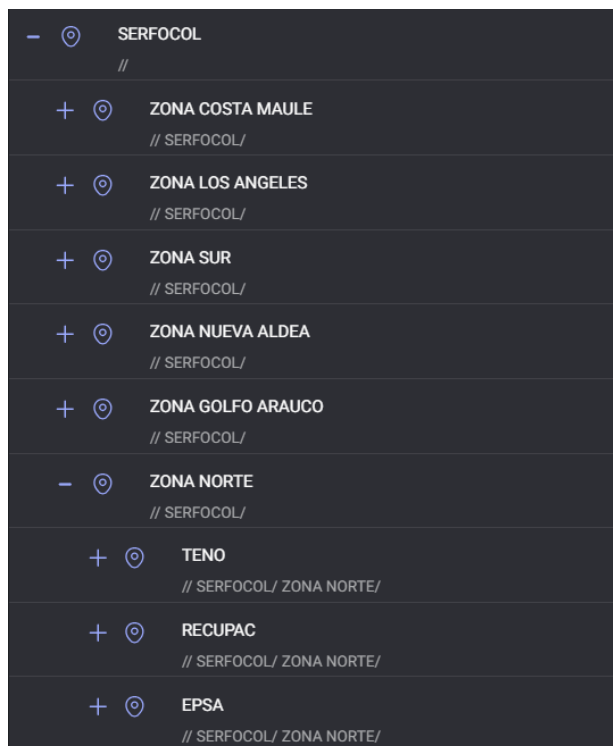


Ilustración 17 Estructura de zonas geográficas en Fractal One

Ilustración 18 Ficha de configuración de un activo en Fractal One

Los usuarios también fueron clasificados de acuerdo con los puestos de trabajo de la compañía, sus roles, responsabilidades y alcances dentro de la cadena del proceso en Fractal. Los mecánicos y ayudantes, por ejemplo, se clasifican como ejecutores; en tal calidad, son quienes ejecutan los trabajos y completan las distintas tareas de las órdenes de trabajo —ya sean de verificación, chequeo o cambio de componentes—, cargando

además los recursos utilizados y sus respectivas cantidades. El planificador, por su parte, es el encargado de planificar a largo plazo los mantenimientos cíclicos que implican cambios de componentes, repuestos y fluidos de la maquinaria, definidos en función de las horas de uso según el fabricante; en consecuencia, es quien carga las órdenes de trabajo predeterminadas por el fabricante y las ajusta según la experiencia de la compañía a las condiciones particulares a las que se ven sometidos algunos activos. El programador, en cambio, cumple una función más zonal: lleva a cabo la programación diaria y semanal de cada tarea preventiva y correctiva según la necesidad de cada activo y cada contrato, y es el encargado de asignar las órdenes de trabajo a los distintos mecánicos y ayudantes. Finalmente, el jefe de mantención es el responsable de revisar y velar por el cumplimiento de todos los puntos contemplados en las distintas pautas ejecutadas por los ejecutores, dando así el cierre definitivo a las órdenes de trabajo, o bien cancelándolas o disponiendo su re-ejecución cuando sea necesario.

En definitiva, es posible caracterizar los roles de los usuarios de acuerdo con las etapas del ciclo de vida de las órdenes de trabajo dentro del sistema: tareas pendientes, órdenes en proceso, órdenes en revisión y órdenes finalizadas, tal como se observa en la ilustración siguiente. En la etapa de tareas pendientes se agrupan las tareas planificadas y programadas, cargadas por los planificadores. En la etapa de órdenes en proceso se encuentran las órdenes de corto plazo, tomadas por los programadores y asignadas a los ejecutores (mecánicos y ayudantes). En la etapa de órdenes en revisión se agrupan las órdenes que ya han sido tomadas y ejecutadas por los mecánicos y/o ayudantes, y que han sido enviadas al jefe de mantención para su validación, revisión y eventual cierre, de acuerdo con lo efectivamente ejecutado. Finalmente, en la etapa de órdenes finalizadas quedan registradas todas las órdenes de trabajo cerradas o canceladas, completando así el ciclo de gestión del mantenimiento dentro del sistema.

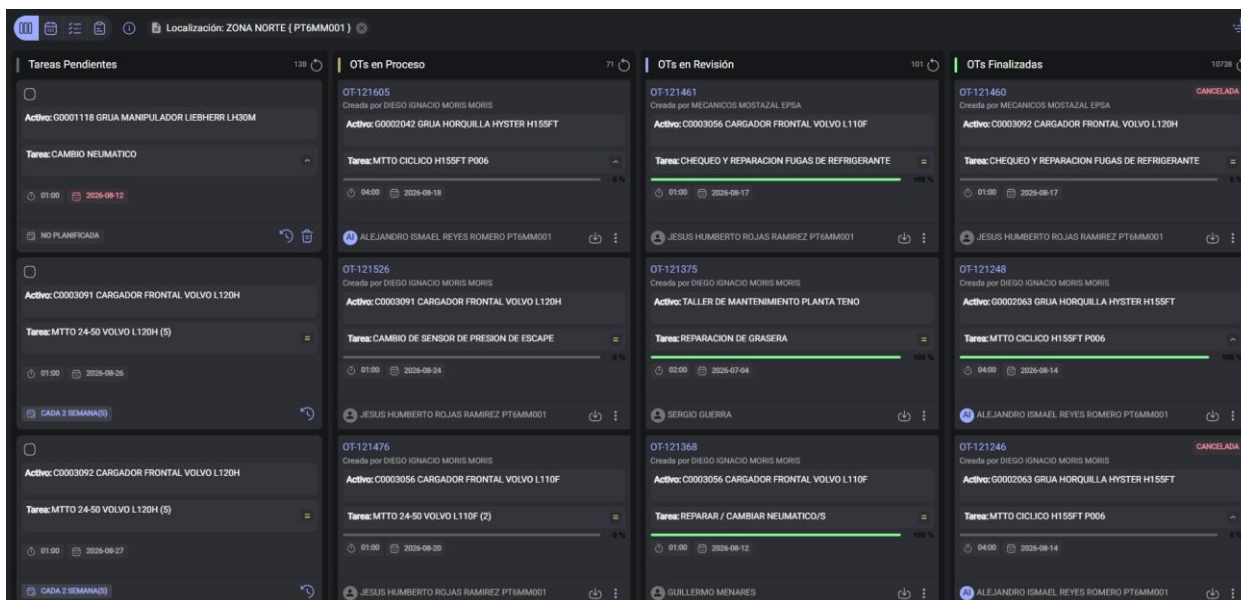


Ilustración 19 Tablero de órdenes de trabajo por etapa en Fractal One

5.4.3.2 Integraciones necesarias

Serfocol S.A. es una compañía que actualmente trabaja con tres softwares en distintas áreas: BUK, para todo lo relacionado con la gestión de personas; SAP Business One, para el control de inventario, las finanzas y las solicitudes de compra; y Fractal, para la gestión del mantenimiento. Actualmente la compañía se encuentra en proceso de integrar estos tres sistemas; sin embargo, el más significativo y prioritario en esta etapa es SAP, dado que es el sistema que concentra todo el inventario de repuestos e insumos, así como la cadena de suministro completa con sus valores reales, las solicitudes de compra y las órdenes de compra asociadas. Fractal, en cambio, solo cuenta con los insumos cargados de forma manual. La integración entre ambos sistemas permitiría que los insumos y repuestos se descuenten de bodega de manera sistemática y en tiempo real, a diferencia de la práctica anterior, en la que era necesario cargarlos en un sistema y luego rebajarlos manualmente en el otro. Por otra parte, la integración con BUK constituye una segunda etapa, ya que a partir de dicho sistema es posible obtener las jornadas laborales de los distintos actores y determinar las horas efectivas de trabajo, en función de las cuales se puede programar el mantenimiento.

5.4.3.3 Validación de datos

Los datos fueron validados por el departamento de planificación, quienes recopilaron toda la información contenida en la base de datos antigua (Servicio Técnico) y la consolidaron

en formato Excel. Esta información fue, a su vez, contrastada con los antecedentes entregados por cada fabricante de las distintas marcas de activos que posee la compañía. Una vez realizado este proceso, la información fue revisada y validada junto con los distintos jefes de mantención, con el fin de incorporar, por consenso, aquellas tareas que, por experiencia y/o por las condiciones de uso de los activos, resultaba pertinente agregar según el contrato y las labores realizadas para cada cliente. Finalizados dichos chequeos, se procedió a cargar la información de manera consolidada en el sistema, asignando a cada plan de mantenimiento y a cada pauta los activadores correspondientes, de acuerdo con las horas de uso de cada activo. A la fecha, se encuentran cargados en el sistema 238 planes de mantenimiento, tal como se observa en la ilustración siguiente.

✓	Descripción	Tareas asociadas	Activos vinculados	Limitar Acceso a Esta Localización
✓	PLAN MTTO GH HYSTER H155FT L006 2012 [24712]	8	1	// SERFOCOL/ ZONA LOS ANGELES/ ECOMAS LOS ANGELES/
✓	PLAN MTTO GH HYSTER H155FT L006 TENO 2016 [24807] REV01	31	1	// SERFOCOL/ ZONA NORTE/
✓	PLAN MTTO GH HYSTER H155FT L006 TENO 2017 [24807] REV01	33	1	// SERFOCOL/ ZONA NORTE/
✓	PLAN MTTO GH HYSTER H155FT P006 2068	17	1	// SERFOCOL/ ZONA LOS ANGELES/ BUCALEMU/
✓	PLAN MTTO GH HYSTER H155FT P006 2072	17	1	//
✓	PLAN MTTO GH HYSTER H155FT P006 BUCALEMU [24718]	12	2	// SERFOCOL/ ZONA LOS ANGELES/ BUCALEMU/
✓	PLAN MTTO GH HYSTER H155FT P006 MULCHEN 2041	25	1	// SERFOCOL/ ZONA LOS ANGELES/ MULCHEN/
✓	PLAN MTTO GH HYSTER H155FT P006 TENO [24827] REV02	39	5	// SERFOCOL/ ZONA NORTE/
✓	PLAN MTTO GH HYSTER H155FT P006 VIÑALES [24712]	21	8	// SERFOCOL/ ZONA COSTA MAULE/ COMPLEJO VIÑALES/
✓	PLAN MTTO GH HYSTER H70FT P177 2009 [24807] REV01	8	1	// SERFOCOL/ ZONA LOS ANGELES/ ECOMAS CABRERO/
✓	PLAN MTTO GH HYSTER H70FT P177 2066 TENO [24807] REV01	34	1	// SERFOCOL/ ZONA NORTE/
✓	PLAN MTTO GH HYSTER H70FT P177 TENO 2010 [24807] REV01	33	1	// SERFOCOL/ ZONA NORTE/
✓	PLAN MTTO GH HYSTER H70FT P177 TENO 2011 [24807] REV01	33	1	// SERFOCOL/ ZONA NORTE/
✓	PLAN MTTO GH HYSTERH90/110FT 2067 [24712]	16	1	// SERFOCOL/ ZONA COSTA MAULE/ COMPLEJO VIÑALES/
✓	PLAN MTTO GH HYSTER H90/110FT [24712]	21	6	// SERFOCOL/ ZONA COSTA MAULE/ COMPLEJO VIÑALES/
✓	PLAN MTTO GH HYSTER J006 2019 NUEVA ALDEA [24701]	8	1	// SERFOCOL/ ZONA NUEVA ALDEA/ TALLER DE EXTERNO NUEVA ALDEA/

Mostrando 238 de 238

Ilustración 20 Listado de planes de mantenimiento cargados en Fractal One

Como se aprecia en la imagen, el sistema permite visualizar, para cada plan de mantenimiento, la cantidad de tareas asociadas y de activos vinculados, así como la localización a la cual se encuentra restringido su acceso, lo que facilita la trazabilidad y el control de la información cargada.

Con el sistema configurado, probado y validado, la fase siguiente consistió en preparar al personal de Serfocol para utilizarlo de forma correcta y autónoma en su trabajo diario.

5.5 Capacitar al personal técnico y administrativo

El proceso de capacitación al personal de Serfocol en el marco de la implementación de la plataforma Fractal One se desarrolló mediante diversas metodologías formativas. Esto se debió tanto a la amplitud geográfica de las operaciones de la compañía, como a la diversidad de roles que intervienen en la cadena de implementación del sistema.

Con el fin de optimizar la transferencia de conocimiento, se estructuró una estrategia formativa escalonada, que contempló una primera etapa orientada al personal ejecutivo y administrativo, seguida por una segunda fase dirigida al personal técnico y operativo.

5.5.1 Metodología de capacitación

La capacitación se dividió en dos grandes etapas, combinando metodologías de aprendizaje autónomo, formación virtual sincrónica, modalidad presencial y ejercicios prácticos interactivos (workshops).

5.5.1.1 Primera etapa: capacitación al personal ejecutivo y administrativo

Esta fase fue liderada por personal externo, específicamente un consultor certificado de Fractal, y estuvo dirigida a los siguientes cargos dentro de Serfocol:

- ❖ Gerente general
- ❖ Subgerente de mantenimiento
- ❖ Jefaturas transversales y zonales
- ❖ Planificadores
- ❖ Programadores

5.5.1.1.1 Consultoría de implementación – modalidad onboarding (8 horas)

Se desarrolló un plan de consultoría tipo onboarding, caracterizado por una metodología de aprendizaje autodirigido complementada con sesiones de apoyo individual. Esta modalidad

contempló el acceso a contenido audiovisual pregrabado, seguido de sesiones sincrónicas para resolución de dudas específicas con el consultor. El plan se estructuró en ocho sesiones de una hora cada una, distribuidas en cuatro semanas.

Semana 1:

Sesión 1: Configuración inicial y parametrización de la cuenta corporativa

Material de estudio previo:

Video: Diligenciamiento de plantillas

Video: Módulo 1 – Pantalla de Configuraciones

Semana 2:

Sesión 2: Gestión de ubicaciones

Sesión 3: Registro de equipos

Sesión 4: Administración de repuestos, herramientas, activos digitales, RR.HH. y terceros

Material de estudio previo:

Video: Módulo 2 – Activos, RR.HH. y Terceros

Semana 3:

Sesión 5: Planificación de tareas, vinculación de activos y generación de órdenes de trabajo

Sesión 6: Gestión de tareas no planificadas, solicitudes de trabajo y órdenes relacionadas

Material de estudio previo:

Video: Módulo 3 – Tareas y Solicitudes

Semana 4:

Sesión 7: Monitoreo, automatización, administración de almacenes y uso del disco virtual

Sesión 8: Análisis mediante inteligencia de negocio

Material de estudio previo:

Video: Módulo 4 – Monitoreo e Inteligencia de Negocios

Video: Módulo 5 – Disco Virtual y Almacenes

5.5.1.1.2 Capacitación presencial (16 horas cronológicas)

Posterior al onboarding virtual, se llevó a cabo una jornada presencial intensiva de 16 horas cronológicas, cuyo objetivo fue reforzar los contenidos adquiridos y aplicar los conocimientos directamente sobre la plataforma Fractal One.

Durante estas sesiones, se utilizó una metodología de taller práctico (workshop), en la que el consultor ejecutaba diversas operaciones dentro del sistema y los participantes debían replicar dichas acciones de forma simultánea. Este enfoque permitió una experiencia formativa interactiva y práctica, orientada a la apropiación funcional de la herramienta.

5.5.1.2 Segunda etapa: capacitación al personal técnico y operativo

Esta fase fue ejecutada en terreno, de manera descentralizada y presencial, en las distintas faenas y contratos operativos de la compañía. La capacitación estuvo a cargo del personal interno previamente formado, específicamente las jefaturas de mantención, planificadores y programadores, quienes actuaron como facilitadores del proceso formativo en sus respectivas áreas de responsabilidad.

El enfoque de esta etapa fue eminentemente práctico y aplicado, orientado a capacitar en el uso efectivo de la plataforma Fractal One al personal técnico operativo, compuesto principalmente por:

- ❖ Técnicos mecánicos
- ❖ Ayudantes mecánicos

Las sesiones se desarrollaron directamente en las instalaciones donde el personal desempeña sus funciones diarias, lo que permitió una transferencia contextualizada del conocimiento, ajustada a las particularidades de cada contrato y tipo de maquinaria o infraestructura administrada.



Ilustración 21 Capacitación personal técnico

En casos específicos, donde la presencialidad no era posible o existían requerimientos de soporte puntual, se habilitaron instancias de capacitación y consulta vía remota, utilizando plataformas digitales para mantener la continuidad del proceso.

Este modelo formativo permitió que todo el personal involucrado en la operación adquiriera las competencias necesarias para el uso autónomo y eficiente del sistema, asegurando así la correcta ejecución de los procesos de mantenimiento digitalizados a través de Fractal One.

En paralelo a la capacitación del personal, y aprovechando que el sistema ya se encontraba operativo, se abordó el diseño de los indicadores clave de mantenimiento definidos como objetivo específico del proyecto.

5.6 Diseñar y determinar indicadores clave de mantenimiento

Tal como se expuso en el marco teórico, los indicadores de mantenimiento pueden clasificarse en tres grandes categorías: indicadores de proceso, estratégicos y de resultados. En nuestra organización, hemos definido qué indicadores utilizar, tomando como base tanto las métricas ofrecidas por el sistema Fractal One (CMMS) como las necesidades internas específicas para evaluar la eficacia de nuestros procesos, procedimientos y actividades de mantenimiento.

Nuestros procesos de mantenimiento operan bajo un modelo que combina programación local con planificación centralizada, lo cual exige una estructura de control adecuada y adaptable. En este contexto, los indicadores seleccionados han sido considerados los más pertinentes para nuestro modelo de negocio en la etapa actual. No obstante, se prevé su complementación y ajuste progresivo, en función de los principios de mejora continua y del escalamiento funcional del sistema CMMS, el cual se encuentra en constante evolución.

Adicionalmente, reconocemos que tanto las herramientas tecnológicas como nuestros procesos internos pueden requerir modificaciones conforme evolucionen los requerimientos operativos y las expectativas de nuestros clientes. Por ello, mantenemos una postura flexible y proactiva frente a la incorporación de nuevos indicadores que permitan fortalecer la gestión del mantenimiento, alineados siempre con los objetivos estratégicos de la compañía.

5.6.1 Indicadores estratégicos

5.6.1.1 Disponibilidad mecánica y operacional

En el marco del modelo de negocio que ofrecemos a nuestros clientes, garantizamos una disponibilidad del 100% en nuestro servicio de atención al cliente. Esta disponibilidad se sustenta en una estrategia de redundancia operativa: para cada grupo de familias de activos, se asigna un equipo en condición de standby (reserva operativa), lo cual nos permite asegurar la continuidad del servicio sin interrupciones perceptibles para el usuario final.

No obstante, a nivel interno y para fines de gestión de activos, diferenciamos y analizamos dos tipos específicos de disponibilidad: disponibilidad mecánica y disponibilidad operacional. Ambas relacionan el tiempo en que el equipo se encuentra en condiciones de

operar con el tiempo total, a partir de los tiempos medios entre detenciones y de reparación (Ebeling, 2010; Mora Gutiérrez, 2009).

5.6.1.1.1 Disponibilidad mecánica

$$\text{Disponibilidad mecánica} = \frac{MTBM}{MTBM + MTTR}$$

Ecuación 1 Disponibilidad mecánica

Donde:

MTBM (Mean Time Between Maintenance): tiempo medio entre mantenimientos planificados (análogo a MTBF).

MTTR: tiempo medio de duración del mantenimiento planificado.

Y en porcentaje:

$$\text{Disponibilidad mecánica} = \left(\frac{MTBM}{MTBM + MTTR} \right) \times 100$$

Ecuación 2 Disponibilidad mecánica porcentual

5.6.1.1.2 Disponibilidad total (operacional)

$$\text{Disponibilidad operacional} = \frac{MTBD}{MTBD + MTTR}$$

Ecuación 3 Disponibilidad operacional

Donde:

MTBD (Mean Time Between Downtimes): tiempo medio entre cualquier tipo de detención (planificada o no planificada).

MTTR: tiempo medio para reparar o recuperar el equipo después de cualquier tipo de detención (incluye mantenimiento planificado y no planificado).

Y en porcentaje:

$$\text{Disponibilidad operacional} = \left(\frac{MTBD}{MTBD + MTTR} \right) \times 100$$

Ecuación 4 Disponibilidad operacional porcentual

5.6.1.2 Cumplimiento de la programación

El cumplimiento de programación de órdenes de trabajo puede evaluarse tanto desde una perspectiva estratégica como operacional (de proceso), ya que permite identificar el desempeño en distintos horizontes temporales: corto, mediano y largo plazo.

Este indicador refleja el grado de alineación entre la programación y la ejecución del mantenimiento, y se expresa como el porcentaje de órdenes de trabajo finalizadas respecto al total de órdenes programadas dentro de un periodo determinado. Su análisis permite detectar desviaciones, cuellos de botella, brechas en la planificación, o deficiencias en la ejecución operativa. Palmer (2019) considera el cumplimiento del programa como uno de los principales indicadores para evaluar la eficacia de la planificación y programación del mantenimiento.

La ecuación utilizada para calcular este indicador es la siguiente:

$$\text{Cumplimiento de órdenes de trabajo (\%)} = \left(\frac{\# \text{ de OT finalizadas}}{\# \text{ de OT programadas}} \right) \times 100$$

Ecuación 5 Cumplimiento de órdenes de trabajo

Donde:

de OT finalizadas: número de órdenes de trabajo efectivamente ejecutadas y cerradas en el periodo analizado.

de OT programadas: número total de órdenes de trabajo planificadas o programadas para ese mismo periodo.

5.6.1.3 Presupuesto

El cumplimiento del presupuesto es un indicador que, al igual que otros indicadores clave de gestión, puede evaluarse tanto desde una perspectiva estratégica como operacional (de proceso). Su análisis permite realizar un seguimiento efectivo de la planificación financiera en el corto, mediano y largo plazo, ya que el presupuesto suele definirse con anticipación y está alineado con los objetivos operativos y financieros de la organización.

Este indicador permite medir la eficiencia en la ejecución de los recursos económicos asignados a mantenimiento. Asimismo, facilita la detección de desviaciones, sobrecostos, o ahorros respecto al plan financiero original, aportando información crítica para la toma de decisiones.

Se expresa como el porcentaje de ejecución presupuestaria, y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de cumplimiento de presupuesto} = \left(\frac{\text{Gasto real}}{\text{Presupuesto}} \right) \times 100$$

Ecuación 6 Cumplimiento de presupuesto

Donde:

Gasto real: corresponde al monto efectivamente ejecutado en el periodo de análisis.

Presupuesto asignado: es el monto planificado o aprobado para ese mismo periodo o proyecto.

5.6.1.4 Confiabilidad

En la mayoría de las organizaciones, la confiabilidad se define como la probabilidad de que un sistema funcione sin fallas durante un intervalo de tiempo específico. Esta probabilidad se modela comúnmente mediante una función exponencial decreciente, bajo el supuesto de que la tasa de falla es constante. El modelo probabilístico clásico se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$R(t) = e^{-\frac{t}{MTBF}}$$

Ecuación 7 Confiabilidad

Donde:

R(t): confiabilidad en el tiempo t.

t: tiempo de operación.

MTBF: Mean Time Between Failures (tiempo medio entre fallas).

Esta ecuación permite estimar la probabilidad de que un activo no falle en un tiempo determinado, siempre que se disponga de datos históricos suficientes y consistentes para determinar el comportamiento estadístico del sistema. Este modelo, basado en la distribución exponencial, es ampliamente utilizado en la ingeniería de confiabilidad (Ebeling, 2010).

No obstante, en esta etapa preliminar, y dado que aún no contamos con una base de datos suficientemente amplia y robusta, hemos optado por una aproximación más práctica para medir la confiabilidad. Por el momento, consideramos únicamente las fallas inesperadas (asociadas al mantenimiento correctivo), en relación con el tiempo total disponible de operación del activo. En este contexto, la confiabilidad se calculará utilizando la siguiente expresión operacional:

$$Confiabilidad = \left(\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \right) \times 100$$

Ecuación 8 Confiabilidad porcentual

Donde:

MTBF: tiempo medio entre fallas.

MTTR: tiempo medio de reparación (Mean Time To Repair).

5.6.2 Indicadores de proceso

5.6.2.1 MTTR (Mean Time To Repair)

Es el tiempo promedio requerido para reparar un activo y devolverlo a condiciones operativas después de una falla. Incluye el tiempo de diagnóstico, preparación, reparación y verificación. Y viene dada por la siguiente ecuación:

$$MTTR = \frac{\sum \text{De los tiempos detención}}{\text{Cantidad de fallas}}$$

Ecuación 9 MTTR

Donde:

$\sum$ De los tiempos detención: sumatoria de los tiempos de detención.

Cantidad de fallas: número de fallas de un activo en un determinado tiempo.

5.6.2.2 Ocupación de horas hombre

Se define como la división de la cantidad de horas hombre programadas sobre la cantidad de horas hombre disponibles y viene dada por la siguiente ecuación:

$$\% \text{ ocupación} = \frac{HH \text{ Programada}}{HH \text{ Disponible}}$$

Ecuación 10 Ocupación

Donde:

HH programadas: horas hombre efectivas programadas.

HH disponibles: horas hombre disponibles en un periodo de tiempo determinado, en este caso semanal y mensual.

5.6.2.3 Cumplimiento del programa mensual de órdenes de trabajo

Este indicador fue definido previamente desde una perspectiva estratégica, con un enfoque de largo plazo (anual), es decir, en el contexto de la planificación.

No obstante, en este caso, se abordará desde una visión operativa, centrada en el seguimiento semanal y mensual, lo que corresponde al proceso de programación.

Para su medición, se empleará la misma fórmula ya establecida, la cual se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Cumplimiento de órdenes de trabajo mensual (\%)} = \left(\frac{\# \text{ de OT finalizadas}}{\# \text{ de OT programadas}} \right) \times 100$$

Ecuación 11 Cumplimiento de órdenes de trabajo mensual

Donde:

de OT finalizadas: número de órdenes de trabajo efectivamente ejecutadas y cerradas en el periodo analizado (semanal y/o mensual).

de OT programadas: número total de órdenes de trabajo planificadas o programadas para ese mismo periodo.

5.6.2.4 Backlog

El backlog se define como la cantidad de tiempo que un equipo de mantenimiento necesita para completar todas las órdenes de trabajo pendientes. Considera todas las órdenes de trabajo que están planificadas, programadas y pendientes. El resultado se expresa en semanas. Este enfoque, que expresa la carga pendiente en semanas de trabajo, es el propuesto por Palmer (2019) para la planificación y programación del mantenimiento.

La fórmula para calcular el backlog es:

$$Backlog = \frac{\sum HH OT planificada + \sum HH OT pendiente + \sum HH OT programada}{\sum HH Disponible \times factor de productividad}$$

Ecuación 12 Backlog

Donde el backlog se interpretará de la siguiente forma:

Backlog = 1; existe equilibrio entre HH y OT.

Backlog > 1; OT pendientes.

Backlog < 1; exceso de mano de obra.

El factor de productividad equivale a un 70% del tiempo disponible.

5.6.3 Indicadores de resultados

5.6.3.1 MTBF (Mean Time Between Failures)

El MTBF es un indicador de resultado que mide el tiempo promedio entre fallas consecutivas de un activo durante su operación normal. Refleja la confiabilidad del activo, indicando la estabilidad y continuidad de su funcionamiento.

Un MTBF alto señala un equipo con pocas interrupciones, mientras que un MTBF bajo indica mayor frecuencia de fallas, afectando la eficiencia operativa.

Este indicador permite evaluar la efectividad del mantenimiento y apoyar la toma de decisiones para mejorar el desempeño.

Su ecuación viene representada de la siguiente forma:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo de operación del equipo}}{\text{N° detenciones no programadas}}$$

Ecuación 13 MTBF

Donde:

Tiempo de operación: tiempo que el activo o equipo se encuentra operando.

N° de detenciones no programadas: cantidad de detenciones producto de fallas.

5.6.3.2 Cumplimiento del programa preventivo

Este indicador mide el grado de ejecución del mantenimiento preventivo programado dentro de un período determinado. Refleja el compromiso con la programación y la capacidad operativa para cumplir con las actividades preventivas programadas.

Se define como la proporción de órdenes de trabajo preventivas programadas que fueron efectivamente ejecutadas.

Su ecuación viene dada por:

Cumplimiento programa preventivo (%)

$$= \left(\frac{\text{N° OT programadas preventivas} - \text{N° OT preventivas pendientes}}{\text{N° OT programadas preventivas}} \right) \times 100$$

Ecuación 14 Cumplimiento del programa preventivo

Donde:

N° OT preventivas programadas: total de órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo planificadas en el período.

N° OT preventivas pendientes: órdenes de trabajo preventivas que no fueron ejecutadas dentro del período.

5.6.3.3 Cumplimiento de presupuesto

El cumplimiento de presupuesto es un indicador clave de resultado, ya que refleja el grado de alineación entre el gasto real incurrido en las actividades de mantenimiento y el presupuesto previamente asignado. Su correcta gestión impacta directamente en la rentabilidad y sostenibilidad del negocio, convirtiéndolo en un indicador estratégico que evalúa la eficiencia en el uso de los recursos financieros.

Este indicador permite monitorear el control presupuestario, identificar desviaciones, y tomar decisiones oportunas para optimizar la ejecución del plan de mantenimiento dentro de los márgenes financieros establecidos.

Su ecuación viene dada por:

$$\% \text{ de cumplimiento de presupuesto} = \left(\frac{\text{Gasto real}}{\text{Presupuesto}} \right) \times 100$$

Ecuación 15 Cumplimiento de presupuesto

Donde:

Gasto real: corresponde al monto efectivamente ejecutado en el periodo de análisis.

Presupuesto asignado: es el monto planificado o aprobado para ese mismo periodo o proyecto.

Definidos los indicadores, correspondió ponerlos en práctica y hacer seguimiento de los resultados que efectivamente entregó la implementación del sistema.

5.7 Monitorear y analizar los resultados obtenidos

El seguimiento de los indicadores definidos en la sección 5.6 se realiza comparando su evolución en tres momentos: la línea base, correspondiente al inicio de la implementación, en la que todos los indicadores presentaban un valor de cero al no existir previamente un sistema formal de medición; el valor registrado al cabo de un año de operación; y el valor actual, transcurridos aproximadamente dos años desde la puesta en marcha del sistema. Esta comparación permite evidenciar la evolución del desempeño del área de mantenimiento a lo largo del proceso de implementación, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4 Evolución de los indicadores de mantenimiento

Indicador	Línea base (año 0)	Año 1	Año 2 (actual)
MTBF (horas)	0	105	97
MTTR (horas)	0	0,46	0,44
Confiabilidad R(t)	0%	99,46%	87,37%
% Ocupación de horas hombre	0%	65%	75%
Cumplimiento del programa mensual de OT	0%	90%	93%
Backlog (semanas)	0	1,05	0,9

De los seis indicadores monitoreados, cuatro muestran una tendencia favorable entre el primer y el segundo año de implementación: el MTTR se redujo levemente, de 0,46 a 0,44 horas; la ocupación de horas hombre aumentó de 65% a 75%; el cumplimiento del programa mensual de órdenes de trabajo mejoró de 90% a 93%; y el backlog disminuyó levemente, de 1,05 a 0,9 semanas, manteniéndose cercano al valor de equilibrio y evidenciando que la carga de trabajo pendiente se mantiene bajo control. Por otra parte, el MTBF y la confiabilidad muestran una disminución entre el año 1 y el año 2, al pasar de 105 a 97 horas y de 99,46% a 87,37%, respectivamente, lo que evidencia una mayor frecuencia de fallas no programadas durante el segundo año. Esta variación se explica principalmente por el mayor desgaste que presenta actualmente la flota de activos, la cual, al incrementar su

antigüedad y horas de uso, requiere una mayor cantidad de intervenciones de mantenimiento correctivo. En cualquier caso, esta disminución constituye un punto de atención relevante para la etapa de mejora continua abordada en la sección siguiente.

Más allá del comportamiento particular de cada indicador, contar con estas cifras centralizadas y actualizadas en el sistema constituye, en sí mismo, uno de los principales aportes de este proyecto. Previo a la implementación, la compañía no disponía de datos objetivos para evaluar el desempeño del área de mantenimiento, por lo que las decisiones se sustentaban principalmente en la experiencia y en la percepción de los equipos de terreno. La disponibilidad actual de estos indicadores permite, en cambio, respaldar las decisiones con evidencia concreta: por ejemplo, priorizar la renovación o el mantenimiento mayor de los activos de mayor antigüedad dentro de la flota, ajustar la dotación de mecánicos en función de la ocupación real de horas hombre, o reforzar la planificación preventiva en aquellos contratos donde el cumplimiento del programa mensual resulta más bajo. De esta manera, la implementación del sistema y de sus indicadores no solo permitió ordenar la información del área de mantenimiento, sino que además sentó las bases para avanzar hacia una gestión del mantenimiento basada en datos, tal como se planteó entre los objetivos específicos de este trabajo.

A partir de lo observado durante el monitoreo, es posible identificar oportunidades de mejora y trazar la ruta de escalamiento del sistema hacia el resto de la organización.

5.8 Proponer mejoras y escalamiento del sistema

Respecto de la integración con SAP, esta se encuentra actualmente en pleno proceso de desarrollo, en su etapa final de ajustes, con el propósito de que los recursos correspondientes a repuestos, insumos y lubricantes puedan cargarse directamente desde SAP a los almacenes de Fractal One. De esta forma, se busca que la información se encuentre disponible en tiempo real, particularmente en lo relativo a los consumos de repuestos, insumos y lubricantes, así como a los ingresos, reposiciones de stock y controles de inventario de las distintas faenas.

Una segunda mejora identificada consiste en extrapolar al resto de la compañía lo ya implementado en una zona particular con el CMMS. Este proceso de escalamiento se encuentra actualmente en un 70% de avance, lo que permitirá, a futuro, contar con una mayor cantidad de datos y con información más clara y ordenada para la totalidad de la organización.

Finalmente, dado que hoy se dispone de una gran cantidad de datos e indicadores, es posible y necesario avanzar hacia un análisis más profundo de las fallas y del mantenimiento correctivo, de manera que estos eventos se traten como situaciones aisladas y no se repitan en otras zonas o contratos de la compañía. En este sentido, contar con información centralizada permite desarrollar mejores análisis de causa raíz (ACR) de fallas, fortaleciendo así el departamento de confiabilidad de la organización.

6 Conclusiones

El presente trabajo tuvo como propósito implementar un sistema CMMS, junto con un conjunto de indicadores clave de desempeño, que permitiera a Serfocol S.A. superar las limitaciones del sistema de mantenimiento que utilizaba hasta antes de este proyecto: una herramienta obsoleta, con escasas capacidades de análisis, sin acceso a información en tiempo real y sin trazabilidad adecuada de las órdenes de trabajo. A partir de los resultados presentados en el Capítulo 5, es posible afirmar que este objetivo general fue alcanzado.

En primer lugar, el diagnóstico inicial permitió identificar con claridad las debilidades del sistema previo (Servicio Técnico) y las necesidades tecnológicas de la compañía, lo que sustentó la selección de Fractal One como el CMMS a implementar, tras evaluarlo frente a otras alternativas del mercado como SAP PM e Infor EAM. Asimismo, se avanzó en la integración de este sistema con otras plataformas corporativas: la integración con SAP se encuentra en su etapa final de desarrollo, mientras que la integración con BUK queda planteada como una segunda etapa a abordar.

En segundo lugar, se diseñaron y definieron los indicadores clave de mantenimiento planteados en los objetivos específicos, entre ellos MTBF, MTTR, confiabilidad, cumplimiento del programa de órdenes de trabajo y backlog, los cuales fueron efectivamente implementados y monitoreados. Tal como se expuso en la sección 5.7, la comparación de estos indicadores entre la línea base, el primer año y el segundo año de operación del sistema evidencia mejoras concretas en cuatro de los seis indicadores evaluados MTTR, ocupación de horas hombre, cumplimiento del programa mensual y backlog, mientras que el MTBF y la confiabilidad presentaron una disminución explicada por el mayor desgaste que actualmente presenta la flota de activos, constituyendo un punto de atención para la gestión futura del mantenimiento.

En tercer lugar, la implementación se llevó a cabo inicialmente en una zona particular de la compañía, a modo de prueba piloto, y hoy se encuentra en un proceso de escalamiento hacia el resto de la organización con un avance del 70%, lo que da cumplimiento al objetivo de diseñar una estrategia de implementación a nivel corporativo. Junto con ello, se llevó a cabo un proceso de capacitación diferenciado según el rol de los usuarios (ejecutores, planificadores, programadores y jefe de mantención), lo que ha permitido una adopción progresiva del sistema por parte de los distintos equipos de la organización.

Finalmente, y como uno de los principales aportes de este trabajo, la implementación del CMMS y de sus indicadores permitió a Serfocol pasar de una gestión de mantenimiento basada principalmente en la experiencia y en la percepción de los equipos de terreno, a una gestión sustentada en datos objetivos, centralizados y disponibles en tiempo real. Esto no solo da cumplimiento al objetivo de proponer una política de mantenimiento basada en datos, sino que además sienta las bases para el fortalecimiento del área de confiabilidad de la compañía, mediante el desarrollo de análisis de causa raíz de fallas a partir de la información hoy disponible.

Como líneas de trabajo futuro, se identifican la finalización de la integración con SAP y BUK, la conclusión del proceso de escalamiento del sistema a la totalidad de las faenas y contratos de la compañía, y el desarrollo de un plan formal de análisis de fallas que permita reducir de manera sostenida la frecuencia de eventos correctivos no programados.

7 Bibliografía

- Asociación Española de Normalización [UNE]. (2018). *UNE-EN 13306:2018. Mantenimiento. Terminología del mantenimiento*. UNE.
- Asociación Española de Normalización [UNE]. (2019). *UNE-EN 15341:2019. Mantenimiento. Indicadores clave de rendimiento del mantenimiento*. UNE.
- Bertolini, D. (2014). *CMMS Explained Made Simple* (2.^a ed.). Reliabilityweb.com Press.
- Ebeling, C. E. (2010). *An introduction to reliability and maintainability engineering* (2.^a ed.). Waveland Press.
- Hiatt, J. M. (2006). *ADKAR: A model for change in business, government and our community*. Prosci Learning Center Publications.
- Kotter, J. P. (1996). *Leading change*. Harvard Business School Press.
- Lopes, I., Senra, P., Vilarinho, S., Sá, V., Teixeira, C., Lopes, J., Alves, A., Oliveira, J. A., y Figueiredo, M. (2016). Requirements specification of a computerized maintenance management system – A case study. *Procedia CIRP*, 52, 268–273. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.047>
- Mora Gutiérrez, L. A. (2009). *Mantenimiento: Planeación, ejecución y control*. Alfaomega.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance* (2.^a ed.). Industrial Press.
- Muchiri, P., Pintelon, L., Gelders, L., y Martin, H. (2011). Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 295–302.
- Palmer, D. (2019). *Maintenance planning and scheduling handbook* (4.^a ed.). McGraw-Hill.
- Parida, A., y 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>
- Smith, R., y Hawkins, B. (2004). *Lean Maintenance: Reduce Costs, Improve Quality, and Increase Market Share*. Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L., y Crespo, A. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 21(1), 125–138. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052013000100011>
- Wireman, T. (1994). *Computerized Maintenance Management Systems* (2.^a ed.). Industrial Press.