



ESCUELA DE NEGOCIOS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA COMERCIAL

**UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA**

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO

SANTA MARÍA

**ESCUELA DE NEGOCIOS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
COMERCIAL**

**MBA, MAGISTER EN GESTIÓN
EMPRESARIAL**

CAMILO ALEJANDRO DITTUS LEON

**INSTAURAR UN MODELO DE EXCELENCIA DE MANTENIMIENTO PARA CUMPLIR CON LOS
LINEAMIENTOS ESTRATEGICOS EN PLANTAS DE ASERRADERO.**

Marzo 2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

Departamento de Ingeniería Comercial

MBA, Magíster en Gestión Empresarial

INSTAURAR UN MODELO DE EXCELENCIA DE MANTENIMIENTO PARA CUMPLIR CON LOS LINEAMIENTOS ESTRATEGICOS EN PLANTAS DE ASERRADERO

Tesina de Grado presentada por

Camilo Alejandro Dittus León

Como requisito para optar al grado de

MBA, Magíster en Gestión Empresarial

Guía de Tesina Dr. Jose Luis Andías

Marzo de 2024



TITULO DE TESINA: **“INSTAURAR UN MODELO DE EXCELENCIA DE
MANTENIMIENTO PARA CUMPLIR CON LOS
LINEAMIENTOS ESTRATEGICOS EN PLANTAS DE
ASERRADERO”**

AUTOR: **Camilo Alejandro Dittus León**

TRABAJO DE TESINA, presentando en cumplimiento parcial de los requisitos para el Grado de MBA, Magíster en Gestión Empresarial de la Universidad Técnica Federico Santa María.

OBSERVACIONES: _____

COMISIÓN DE TESINA:

Dr. Jose Luis Andías, **Profesor Guía**

Dr. xxxxx, **Profesor Co-Referente Interno.**

Mg. xxxxx, **Profesor Externo**



Todo el contenido, análisis, conclusiones y opiniones vertidas en este estudio son de mi exclusiva responsabilidad.

Nombre: Camilo Alejandro Dittus León.

Firma:

Fecha: Marzo-2024

Extracto

Este trabajo se refiere a la forma de instaurar un modelo de Gestión de Mantenimiento Estratégico en las Plantas de Aserradero Arauco. A modo de introducción y contextualización, se explica la importancia que tiene la alineación de objetivos a todo nivel organizacional para lograr la integración y correcta gestión de la unidad de mantenimiento. El interés en específico nace por la poca importancia que se le da por parte de esta área a la gestión de la Lubricación y del Mantenimiento Predictivo, siendo estas dos las bases técnicas que se considerarán para modelo.

Para el desarrollo de este proyecto se consideró la metodología de excelencia operacional la cual contiene las siguientes etapas: (1) la definición de los objetivos estratégicos que orientan el desarrollo del Programa; (2) la realización de un análisis de la situación actual de la organización, (3) el análisis de procesos, el cual considera a su vez, un análisis de brechas en el proceso definido, un análisis de criticidad que permite identificar el desempeño e impacto del proceso y finalmente (4) la elaboración de la matriz de análisis del proceso, que permitió diagramar los análisis antes mencionados e identificar los focos de mejora relacionado a las correcciones que irán saliendo en cada proceso de obtención de datos desde la salud de la lubricación y de predictivo.

Abstract

This work refers to how to establish a Strategic Maintenance Management Model in the Arauco Sawmill Plants. As an introduction and contextualization, the importance of aligning objectives at all organizational levels to achieve the integration and correct management of the maintenance unit is explained. The specific interest arises from the little importance given by this area to the management of Lubrication and Predictive Maintenance, these two being the technical bases that will be considered for the model.

For the development of this project, the operational excellence methodology was considered, which contains the following stages: (1) the definition of the strategic objectives that guide the development of the Program; (2) carrying out an analysis of the current situation of the organization, (3) process analysis, which in turn considers a gap analysis in the defined process, a criticality analysis that allows identifying performance and impact of the process and finally (4) the preparation of the process analysis matrix, which allowed diagramming the aforementioned analyzes and identifying the areas of improvement related to the corrections that will emerge in each process of obtaining data from the health of the lubrication and predictive.

CONTENIDO

1. Introducción	11
2. Descripción y Justificación del Tema	12
2.1. Planteamiento del Problema	12
2.2. Justificación del tema.....	12
3. Desarrollo de la Tesis	13
3.1. Alcance	13
3.2. Metodología de Trabajo para el Desarrollo de la Tesis.....	14
3.2.1. Objetivos Generales y Específicos	15
3.2.1.1. Objetivo General:	15
3.2.1.2. Objetivos Específicos:.....	15
3.2.2. Estado del Arte	16
3.2.2.1. Monitoreo de Condiciones	16
3.2.2.2. Lubricación y Salud de Aceites	18
3.2.2.3. Modelo de Excelencia Operacional.....	21
3.3. Análisis de la situación actual	24
3.3.1. Análisis de Variables Críticas en la Gestión de Monitoreo de condiciones por vibraciones y Lubricación.....	25
3.3.2. Análisis de Situación Actual en el Proceso de Planificación	27
3.3.2.1. Contexto General del proceso	27
3.3.2.2. Análisis del Proceso de Planificación.....	28
3.3.3. Análisis de Situación del Proceso de Ejecución.....	29
3.3.3.1. Contexto General.....	29
3.3.3.2. Análisis del Proceso de Ejecución	29
3.3.4. Análisis de Situación del Proceso de Confiabilidad	30
3.3.4.1. Contexto General.....	30
3.3.4.2. Análisis del Proceso de Confiabilidad	31
3.4. Análisis de Brechas en las dimensiones de Procesos, Tecnología y Personas.....	32
3.4.1. Análisis de Brechas	32
3.4.1.1. Descripción de las Dimensiones de Análisis.....	32
3.4.2. Análisis de Brechas en Monitoreo de Vibraciones	37

3.4.2.1.	Planificación	38
3.4.2.2.	Ejecución	38
3.4.2.3.	Confiabilidad	39
3.4.3.	Análisis de Brechas en Monitoreo de Aceites	40
3.4.3.1.	Planificación	40
3.4.3.2.	Ejecución	41
3.4.3.3.	Confiabilidad	42
3.5.	Plan de Propuestas de Mejora	44
3.5.1.	Listado de Mejoras	44
3.5.2.	Matriz de Priorización de resultados	45
3.5.2.1.	Quick Wins, Etapa I de Mejoras: Impacto Alto-Esfuerzo Bajo	46
3.5.2.2.	Etapa II de Mejoras: Impacto Alto-Esfuerzo Medio	47
3.5.2.3.	Etapa III de mejoras:	47
3.6.	Resultados Obtenidos del Desarrollo de la Tesis	48
4.	Conclusiones	51
5.	Bibliografía	53
ANEXOS		54
ANEXO 1:	Flujo de Implementación Gestión de Mantenimiento Predictivo	54

Índice de Figuras

Figura 1: Etapas a desarrollarse en la tesina	14
Figura 2: Diagrama niveles de madurez Monitoreo de Condiciones	17
Figura 3: Esquema descriptivo de Metodología SACODE	20
Figura 4: Ciclo de Deming (Elaboración propia)	23
Figura 5: Medición Variables Críticas en Vibraciones	26
Figura 6: Medición Variables Críticas en Lubricación	27
Figura 7: Equipo analizador de vibraciones	35
Figura 8: Equipo Analizador de Salud de Aceites	36
Figura 9: Sensores de Vibración	37
Figura 10: Matriz de Priorización de tareas	45
Figura 11: Plan de Trabajo Estrategia de Monitoreo de Vibraciones	49
Figura 12: Plan de Trabajo Estrategia de Monitoreo de Salud de Aceites	50
Figura 13: Diagrama de Flujo de Mantenimiento Predictivo según Norma ISO 17359:2018	54

Índice de Tablas

Tabla 1: Identificación de Objetivos a Impactar en el análisis (Fuente: elaboración propia)	16
Tabla 2: Descripción de Brechas en Planificación: Dimensiones de Proceso, Tecnología y Personas	29
Tabla 3: Descripción de Brechas en Ejecución: Dimensiones de Proceso, Tecnología y Personas..	30
Tabla 4: Descripción de Brechas en Confiabilidad: Dimensiones de Proceso, Tecnología y Personas	32
Tabla 5: Acciones según brechas en Planificación en Vibraciones	38
Tabla 6: Acciones según brechas en Ejecución de Mantenimiento en Vibraciones.....	39
Tabla 7: Acciones según brechas en Confiabilidad en Vibraciones.....	40
Tabla 8: Acciones según brechas en Planificación de Monitoreo de Aceites.....	41
Tabla 9: Acciones según Brechas en Ejecución de Mantenimiento en Salud de Aceites	41
Tabla 10: Acciones según brechas en Confiabilidad en Salud de Aceites.....	42
Tabla 11: Listado de Acciones de Mejoras	44
Tabla 12: Etapa 1 Quick Wins, acciones rápidas de alto y medio impacto en Vibraciones.....	46
Tabla 13: Etapa 1 Quick Wins 2, acciones rápidas de impacto medio-alto en Monitoreo de Aceites	46
Tabla 14: Etapa 2, acciones de impacto alto y esfuerzo medio Vibraciones.....	47
Tabla 15: Etapa 2, acciones de impacto alto y esfuerzo medio en Monitoreo de Aceites.....	47
Tabla 16: Etapa 3, acciones a largo plazo en Monitoreo de Vibraciones.....	47
Tabla 17: Etapa 3, acciones a largo plazo en Monitoreo de Aceites.....	48

1. Introducción

El proyecto de tesina se desarrolla dentro del marco del Magister en Gestión Empresarial del Departamento de Ingeniería Comercial de la Universidad Técnica Federico Santa María sede Casa Central Valparaíso.

El presente trabajo, se refiere al desarrollo de un programa de excelencia de mantenimiento considerando dos aristas técnicas en este ámbito. La primera es la gestión de la lubricación y la segunda es la gestión del mantenimiento predictivo, específicamente de las vibraciones de los equipos mecánicos.

En el marco de los objetivos planteados, se encuentran el conocer la situación actual que se encuentran las plantas de Aserradero de Arauco. Por otra parte, se realiza una revisión del marco teórico, con el fin de incorporar a la metodología de trabajo, los temas considerados más atingentes para lograr el objetivo general de la tesina. Luego se procede a desarrollar el programa en sí.

Para el desarrollo de este programa se toma como base el Proceso de Gestión de Proyectos, con el objetivo de generar un impacto en la gestión del departamento de Mantenimiento. Para el programa se aplica una metodología de excelencia operacional, que tiene las siguientes fases: a) Fase 1: definición de los objetivos estratégicos que orientan el desarrollo del programa; b) Fase 2: entendimiento de la situación actual; c) Fase 3: análisis de procesos, el cual considera un análisis de brechas en las dimensiones de procesos, tecnología y personas, un análisis de criticidad de los procesos, y una matriz de análisis de procesos, a través de la cual, se identifica el desempeño y el nivel de impacto de los procesos analizados, siendo, por tanto, una radiografía de los mismos, que permitió identificar los focos de mejora; d) Fase 4: Plan de Mejoras, el cual se nutre de la información obtenida de la Fase 3, lográndose idear como resultado mejoras de rápida implementación (Quick Wins) y planes estratégicos, que requieren un mayor esfuerzo tanto de tiempo como de recursos para su implementación; e) Fase 5: Validación del programa, lo cual considera la generación de información y el seguimiento y control a su gestión.

Finalmente es importante mencionar que, a través de metodología de excelencia operacional planteada, se motiva al equipo de mantenimiento a considerar dos ámbitos de este que normalmente se dejan en segundo plano, a tomarlo como prioridad y evidenciar los beneficios que genera a lo largo del ciclo de vida de los activos. Esta metodología desarrollada de manera práctica será un modelo posible de replicar por cualquier departamento de mantenimiento para el desarrollo de una evaluación de su estrategia predictiva y de lubricación.

2. Descripción y Justificación del Tema

2.1. Planteamiento del Problema

El desarrollo de esta tesina nace de la necesidad de dar una señal clara acerca de la importancia que el mantenimiento preventivo ligado a la lubricación y al monitoreo de condiciones puede tener, ayudando a reducir costos, riesgos en seguridad y aumentando el margen para generar mejora continua, teniendo un modelo claro y simple de gestión que permita realizar seguimiento y control a las variables más importantes en estos ámbitos.

Este modelo se evaluará considerando como base las plantas de aserradero de la Empresa Arauco. En los últimos años, sobre todo los años de pandemia, la necesidad de reducir los gastos en la compañía se hace una necesidad vital para seguir siendo competitivos.

La empresa ya tiene un nivel competitivo en cuanto a planes de mantenimiento preventivo, por lo que necesita buscar nuevos niveles de madurez para aumentar su ventaja competitiva frente a sus principales competidores. Es por esto por lo que, dentro de lo que es el mantenimiento, se identifica como principal problema, el alto nivel de mantenimiento correctivo en equipos críticos tales como Sierra Huincha y Chipper Canter en Plantas de Aserradero lo que se traduce en costos altos, accidentes en el desarrollo de estas tareas por el poco tiempo que se les exige para realizar la tarea sin una planificación adecuada, y la poca disponibilidad de horas para analizar y buscar mejoras.

En este contexto se identifica la necesidad de desarrollar un modelo de excelencia operacional para lograr mayor eficiencia en la gestión de mantenimiento en los equipos críticos anteriormente descritos.

2.2. Justificación del tema

En las Plantas de Aserradero existe un departamento de mantenimiento encargado de darle confiabilidad a la operación de los activos que forman parte de la línea productiva gestionando los diferentes tipos de mantenimientos de una manera óptima consiguiendo eficiencia tanto en la operación como en los costos de esta. Dentro de los diferentes mantenimientos hay dos disciplinas que están con un nivel de madurez bajo que, a pesar de su relevancia en la consecución de resultados positivos, no es considerada como un tema de prioridad alta.

El mantenimiento basado en condición es un campo del mantenimiento predictivo que en muchas de las plantas ni si quiera hay personal encargado de este tema en particular, sino como un tema extra dentro del equipo de mantenimiento general.

Esta propuesta ayudará a adoptar políticas relacionadas a la importancia del mantenimiento basado en condición y su seguimiento y control, reduciendo los costos de mantenimiento, los índices de

accidentabilidad y aumentar la capacidad de análisis para mejoras de los procesos en búsqueda de la eficiencia del mantenimiento.

Es por esto por lo que se hace necesario realizar una revisión y actualización de sus principales procesos, con el fin de mejorarlos y estandarizarlos, y por lo mismo generar un impacto positivo en su gestión y en la calidad del mantenimiento y nivel de confiabilidad.

Dentro de lo que es el mantenimiento predictivo, al no ser algo prioritario dentro de la estrategia global de mantenimiento, necesitan ser levantadas las brechas en las dimensiones desde la planificación, la confiabilidad y la ejecución verificando la existencia de procedimientos, capacitaciones, flujos de información, entre otras. Los departamentos de mantención están compuestos por un jefe de mantenimiento, encargados de confiabilidad, encargados de planificación y supervisores de mantenimiento que interactúan transversalmente, por lo que su funcionamiento asociado a procedimientos claros y estandarizados sin duda puede repercutir positivamente en el servicio entregado a los clientes.

3. Desarrollo de la Tesis

3.1. Alcance

El alcance de esta tesina será analizar en profundidad 3 grupos de proceso asociados al mantenimiento basado en condiciones de vibración y lubricación en las plantas de aserradero.

Considerando estos procesos como principales focos para la Subgerencia de Confiabilidad, ya que estos apalancan directamente los objetivos estratégicos de la empresa, buscando una alta confiabilidad de los equipos y un proceso de mejora continua y que al mismo tiempo sea un complemento en el uso más eficiente de los recursos.

La Subgerencia de Confiabilidad tiene dentro de sus principales focos los siguientes objetivos estratégicos:

1. Prevenir de Fallas en los equipos o instalaciones.
2. Reducir el reemplazo de equipos durante su vida útil.
3. Optimizar la producción al evitar paros no programados.
4. Reducir el tiempo de espera entre reparaciones y aumentar el tiempo entre fallas.
5. Disminuir los costos de mantenimiento
6. Aumentar la seguridad para el personal encargado del mantenimiento y operación.

El alcance de esta tesina estará dado en contribuir a los objetivos estratégicos 1, 5 y 6

En base a estos indicadores seleccionamos un subconjunto de procesos a revisar, esto, considerando su impacto en los principales objetivos estratégicos de la empresa, su impacto en la disponibilidad y su nivel de confiabilidad identificado durante el último año. Estos procesos son los siguientes:

- Ejecución de Monitoreo de Condiciones
- Planificación de Monitoreo de Condiciones y la ejecución de las acciones a partir de este.
- Confiabilidad de Mantenimiento considerando el rol del Monitoreo de Condiciones

De acuerdo con lo descrito en el problema planteado anteriormente el alcance del presente estudio se delimitará en analizar la gestión del mantenimiento de las plantas de aserradero. Dicha metodología, aplica en este caso al Mantenimiento Basado en Condición tanto en lo Predictivo como en la Lubricación dentro de Plantas productivas que requieran realizar rediseño de procesos o bien mejoras incrementales tomando como base los resultados de los análisis hechos. Para validar esto, se aplicó al Proceso de Aserradero en Empresas Forestales.

3.2. Metodología de Trabajo para el Desarrollo de la Tesis

Esta tesina comprenderá una metodología constituida por 5 etapas, con el objetivo de darle un orden lo definiremos en el esquema siguiente:



Figura 1: Etapas a desarrollarse en la tesina

En la etapa 1 se definen tanto el objetivo general como los específicos a alcanzar; en la etapa 2, Estado del Arte se realiza el levantamiento del marco teórico asociado, para posteriormente en la etapa 3 realizar un análisis de este considerando los objetivos de la tesina y la situación actual. En la etapa 4, se procede a desarrollar en sí el aporte al conocimiento, en donde se considera la información obtenida tanto de la etapa 2 y etapa 3. En la etapa 5 se realiza la validación del resultado de la tesina para finalmente describir las conclusiones del trabajo realizado

La metodología es el corazón de la investigación, es por esto que se debe planificar cuidadosamente y, luego, exponerla de forma tal que se comprenda claramente y servir de modelo para su aplicación de manera continua.

3.2.1. Objetivos Generales y Específicos

3.2.1.1. *Objetivo General:*

Instaurar un Modelo de Excelencia Operacional para reducir el Mantenimiento correctivo (Fallas) en los equipos de Aserradero aumentando la productividad operativa de las plantas en el Marco de Mantenimiento Basado en Condición.

3.2.1.2. *Objetivos Específicos:*

- Realizar un levantamiento de la situación actual en las dimensiones de procesos, soporte tecnológico y personas, entendiendo que en la dimensión personas los temas a revisar se orientan a la formación para desarrollar competencias y la definición de roles y responsabilidades.
- Identificar las brechas en las dimensiones de procesos, soporte tecnológico y personas, que corresponde lo que falta cubrir para lograr el objetivo de disminuir el mantenimiento correctivo.
- Desarrollar un plan de mejoras en el corto mediano plazo en las dimensiones de procesos, tecnología y personas, que permita solucionar las brechas identificadas.

Objetivo Estratégico	Objetivo Específico
1. Mejorar la Disponibilidad de los Activos	1.1. Reducir la Probabilidad de Falla de los equipos
	1.2. Aumentar el tiempo medio entre reparaciones
	1.3. Reducir los trabajos correctivos sin planificación
2. Reducir los Costos de Mantenimiento	2.1. Identificar y corregir problemas antes que se conviertan en fallas mayores.
	2.2. Reducir el Mantenimiento tanto preventivo como correctivo por falla imprevistas
	2.3. Reducir el reemplazo de equipos.
3. Prolongación de la Vida útil de los equipos	3.1. Reducir la frecuencia de mantenimientos programados.
	3.2. Evitar el desgaste prematuro de los equipos
4. Mejora de la Seguridad	4.1. Identificar y corregir problemas que podrían ser un riesgo en la seguridad de los trabajadores
	4.2. Mejora en la Planificación de trabajos.
	4.3. Reducir los trabajos por fallas, lo que lleva a buscar su reducción en la corrección.
5. Optimizar el uso de recursos	5.1. Aumentar la eficiencia en la utilización de recursos (repuestos, HH, etc)
	5.2. Evitar intervenciones innecesarias

Tabla 1: Identificación de Objetivos a Impactar en el análisis (Fuente: elaboración propia)

Dentro de este trabajo nos enfocaremos en los objetivos 1, 4 y 5 o sea, en Mejorar la disponibilidad de los activos, mejora de la seguridad y la optimización en el uso de los recursos.

3.2.2. Estado del Arte

Para realizar el estado del arte es necesario tener bien definido el tema de investigación. En esta tesis será realizar un Modelo de Excelencia Operacional aplicado a dos ámbitos esenciales del mantenimiento como son la Lubricación y el Monitoreo de Condiciones. Ambos puntos tomarán el concepto de salud de planta para, por un lado, llevar el seguimiento y control de sus resultados para tomar decisiones efectivas que ayuden a reducir los tiempos de mantenimiento correctivo por fallas y segundo, llevar una disciplina de gestión del mantenimiento preventivo tanto en la ejecución como en la mejora del proceso. Los conceptos principales se definen en los puntos a continuación.

3.2.2.1. Monitoreo de Condiciones

Dentro de las últimas tendencias en el mantenimiento de máquinas, y cada vez tomando más fuerza, nos encontramos con el mantenimiento predictivo, donde el principal objetivo es anticiparse a la falla con diferentes técnicas de análisis y poder planificar correcciones antes que estas sean de carácter

catastrófico. Los beneficios son diversos, tanto en cuanto a costos, seguridad y tiempos de ejecución para no afectar de gran manera la disponibilidad de los equipos.

La implementación de técnicas y herramientas de monitoreo de condiciones en los activos físicos alineados a la ISO 55001 (Asset Management), contribuyen a la optimización de las tareas de mantenimiento en las plantas. Hoy en día, es una de las razones para que la empresa realice investigaciones en el mejoramiento continuo de sus instalaciones, y garantizar así la continuidad operativa de los procesos buscando el coste beneficio de la inversión.

Dentro de lo mencionado anteriormente, si lo llevamos a un esquema de madurez de la tecnología, nos encontramos con lo siguiente:

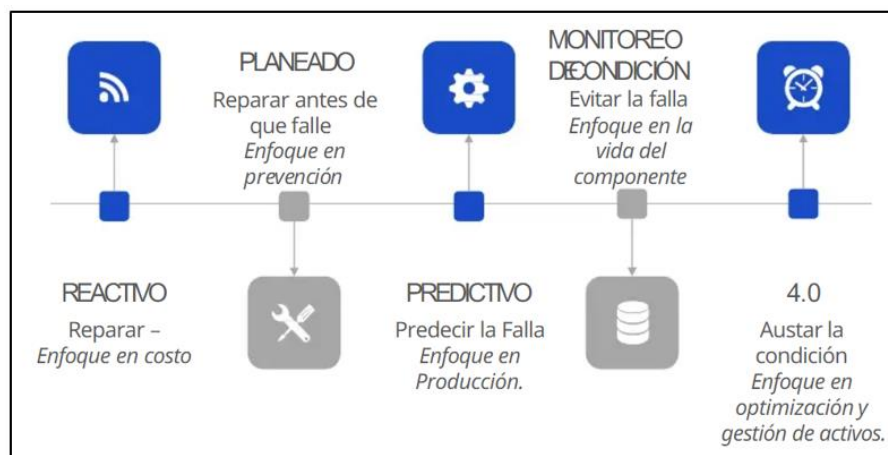


Figura 2: Diagrama niveles de madurez Monitoreo de Condiciones

Como definición el Monitoreo de Condiciones es el estado de una variable física que se considera representativa de la condición del equipo y su comparación con valores que indican si el equipo está en buenas condiciones o deteriorado. Uno de los objetivos del monitoreo de condiciones es indicar cuando existe un problema, para diagnosticar entre los estados o condiciones del activo, bueno o malo, y si es malo, indicar cuan malo es; evitando fallas catastróficas.

En general, monitorear una condición consiste en estudiar (Evaluar y analizar) la evolución estocástica de ciertos parámetros y asociarlos a la evolución de los fallos para así determinar en qué periodo de tiempo ese fallo va a tomar una relevancia importante, para así poder planificar y realizar las intervenciones oportunamente para que ese fallo no se produzca o no tenga consecuencias graves.

Detectar problemas en las diferentes variables que se monitorean va tomando vital importancia para:

- Detectar los modos de falla
- Diagnosticar los mecanismos de deterioro
- Identificar las condiciones que afectan la vida útil de los componentes de los equipos
- Identificar las causas de los problemas del equipo.
- Pronosticar la vida útil de los equipos.
- Pronosticar la confiabilidad esperada para un intervalo de tiempo.

- Evaluar y mitigar el impacto de las fallas en la confiabilidad operativa.
- Optimizar el sincronismo de las intervenciones del mantenimiento
- Mejorar la confiabilidad y disponibilidad.

Como se menciona, el monitoreo basado en condiciones puede generar muchos beneficios en la confiabilidad de los activos, donde el principal es eliminar los trabajos por fallas catastróficas reduciendo al máximo los costos y tiempos de reparación. Esto tiene mayor impacto cuando el monitoreo es de manera continua, definiendo parámetros y estados de alarma que se generen en cualquier momento donde el equipo este en movimiento y su condición no esté dentro de los parámetros aceptables.

El análisis continuo de vibraciones en línea utiliza sensores en red instalados en el equipo para recopilar datos y enviarlos a un servidor local o nube para análisis y alertas. La frecuencia de las lecturas hace que el monitoreo continuo de vibraciones en línea sea muy efectivo para detectar defectos de rápido desarrollo. Aunque el equipo tradicionalmente haya sido caro, una nueva generación de sistemas de monitoreo de condición basados en la nube y económicos hace que la tecnología sea práctica para una gama más amplia de activos.

Como siempre, hay compensaciones. Incluso aplicado a intervalos discretos, el monitoreo continuo de condición en línea genera grandes cantidades de datos. Sin embargo, en la mayoría de los casos, esos datos se transfieren a la nube para su almacenamiento. El software fácil de usar y basado en la nube se puede utilizar para ejecutar automáticamente análisis preconfigurados contra los datos, lo que reduce la cantidad de experiencia necesaria para convertir la salida del sensor en información procesable.

El enfoque de monitoreo ideal para un activo determinado equilibra con éxito el costo del monitoreo con la probabilidad de que la frecuencia descubra problemas a tiempo para evitar el tiempo de inactividad no programado. A los efectos de elegir una modalidad de monitoreo, considere el riesgo introducido por el fracaso. Esto incluye el riesgo de que ocurra una falla; la duración de dicho incumplimiento; y el impacto de ese fracaso en términos de seguridad humana, seguridad ambiental y producción general.

Como se puede ver, el éxito para la estrategia de monitoreo de vibraciones depende tanto de las personas, como de los procesos y de la tecnología que se utiliza.

3.2.2.2. *Lubricación y Salud de Aceites*

Un lubricante es toda aquella sustancia que se aplica entre superficies sólidas, con el fin de generar un movimiento más fluido entre ellas, disminuyendo la fricción, la temperatura y el desgaste de material. Los lubricantes, tienen diferentes tipos de clasificación, como de acuerdo con su estado físico (gaseosos, líquidos o sólidos), su origen de fabricación (orgánicos, minerales y sintéticos), composición química (orgánicos e inorgánicos), entre otras más formas. Dentro de la clasificación por su origen, se hayan los aceites minerales y sintéticos, los cuales son los más demandados en la industria, por su fácil adquisición y por cumplir de gran manera los requerimientos de la industria.

En las diferentes industrias, reducir tanto los costos como los tiempos en donde un activo esté fuera de servicio es fundamental para entregar un servicio de alta calidad al usuario, o bien, para producir

la mayor cantidad de un bien posible. Para lograr dicho objetivo, las empresas crean distintos planes de mantenimiento para los distintos activos involucrados en el trabajo. Dichos planes son hechos a partir de data histórica, experiencia del profesional a cargo, objetivos que lograr dentro de la empresa, entre otros factores.

En lo que abarca a la lubricación dentro del mantenimiento, los componentes que la utilicen están expuestos a contaminación de las piezas, residuos de material, desgaste por el tiempo y la temperatura de uso, entre otros factores. Por lo tanto, necesitan ser renovados. Algunos tipos de aceites lubricantes se renuevan en periodos de tiempo más breves que otros, esto dependerá del tipo de lubricante que sea, el uso que se le da y las condiciones de trabajo a las cuales está expuesto el vehículo. Considerando las diferentes posibilidades que hay en una acción hacia los lubricantes, es importante tener un modelo que nos lleve a tomar las mejores decisiones, buscando la reducción de costos tanto en el uso de lubricantes como también en la disminución de fallas.

Para lo anterior el análisis de aceite es bastante aplicado últimamente en empresas donde se necesita que la productividad y disponibilidad del activo estén lo más altas posibles. Con dicho análisis, se pueden establecer criterios, como, por ejemplo: Identificar qué tipo de aceite es más conveniente para el equipo, encontrar las piezas más dañadas (debido a la presencia de material particulado) e interpretar si es que se puede seguir utilizando el lubricante, renovarlo o micro filtrarlo.

Tener un índice de madurez alto en la gestión de lubricación significa que se generan alarmas de manera sistemática, quedando documentadas y con un seguimiento de tendencias y evaluando las mejores decisiones a partir de los resultados de los análisis. Por lo tanto, los puntos que deberían estar incluidos en una efectiva gestión de la lubricación serían:

- a) Ruta de análisis de aceite
- b) Procedimiento de toma de muestras, con materiales, tareas y definición de soluciones en función de los resultados.
- c) Informe KPI con los resultados de los análisis a nivel global y que se pueda hacer seguimiento de manera constante buscando la mejora continua.

Este último punto siendo el que estará dentro del modelo de gestión propuesto en este trabajo. Respecto a este punto, la revista "Machinery lubrication" indica que la definición de las métricas para la gestión de lubricación en un principio no es muy evidente pero que el panorama se aclara resolviendo las preguntas indicadas como: ¿Cuáles son los objetivos para alcanzar? ¿En cuánto tiempo se desean alcanzar? Y yo agregaría: ¿cuáles son los recursos disponibles para alcanzar esos objetivos?

En lubricación hay muchos objetivos para medir y es deseable clasificarlos por familias. Por ejemplo: si deseamos monitorear la salud del activo a través de la lubricación debemos definir KPI para:

- Medir el desgaste de los componentes críticos lubricados
- Medir el deterioro de las propiedades del lubricante que está en servicio en los componentes críticos.
- Medir la contaminación que afecta la salud del lubricante.

Es por estos puntos, que es tan impredecible realizar análisis a la lubricación, y así como el monitoreo de vibraciones, generar tendencias para anticiparse a valores críticos que pongan en riesgo la confiabilidad de la producción.

3.2.2.2.1. Metodología SACODE

La metodología o técnica conocida como SACODE brinda las bases necesarias para realizar una correcta interpretación de los resultados del análisis de aceite, a través del seguimiento sistemático. Dicha sigla indica el orden con el cual se revisarán las 3 categorías del análisis: **SA** para salud, **CO** para contaminación y **DE** para desgaste.

El análisis de aceite es una serie de pruebas de laboratorio usados para evaluar la condición de los lubricantes usados. Con el resultado se puede tomar decisiones en cuanto a la necesidad de cambiar el lubricante o de someterlo a un proceso de filtración o de diálisis y también elaborar un diagnóstico de condición de desgaste del equipo y sus componentes.

El lubricante (constituido por básicos y aditivos) inmediatamente al entrar en uso, empieza a experimentar cambios diversos: la viscosidad del aceite cambia, los aditivos inician a agotarse, las condiciones de alta temperatura, aire y humedad favorecen la oxidación del aceite, así como la presencia de partículas metálicas catalíticas, etc.

A continuación, se muestra un esquema general de lo que contiene la metodología SACODE.

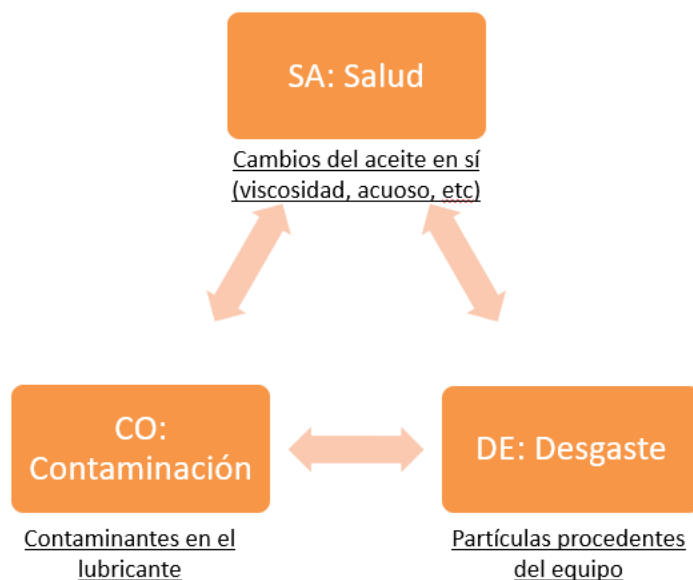


Figura 3: Esquema descriptivo de Metodología SACODE

Dentro de lo que implica el análisis de datos en esta metodología, Los límites estadísticos se basan en desviaciones de los promedios históricos, en condiciones de datos originales o normalizados por adición de aceite entre fechas de muestreo.

3.2.2.3. *Modelo de Excelencia Operacional*

Dentro del estudio de esta tesina, considerando que es un programa de excelencia operacional llevado al Mantenimiento, los tópicos de esta metodología son de suma importancia para entender todo el proceso y poder plasmarlo en un proyecto.

La definición de Excelencia Operacional es “en esencia hacer correctamente las cosas correctas; busca ejecutar de la mejor manera posible lo definido en el plan de estrategias corporativas; en últimas es desarrollar las actividades de la organización de tal forma que se traduzcan en los mejores resultados técnicos y financieros. Para lograr la Excelencia Operacional se usan metodologías como: La Planeación Estratégica, la Reingeniería de Procesos, la Calidad Total, el Mejoramiento Continuo, la Gestión de Activos, la Confiabilidad Operacional, y las nuevas Tecnologías de la Información”¹ (García, 2014). Esta se logra cuando todos y cada uno, de los miembros de la empresa, pueden ver el flujo permanente de valor hacia el cliente, y aportan con sus actividades a la continuidad del flujo, para evitar que este se interrumpa. La excelencia implica mantener los procesos correctos y utilizar la guía adecuada. Los procesos pueden enseñarse debidamente a todos y no dependen de opiniones; por tanto, cualquiera puede ir en busca de la Excelencia Operacional, en cualquier ambiente y hacer que esta se alcance” (García O. , Reportero Industrial , 2014).

Considerando esto, en esta oportunidad el concepto de Excelencia Operacional se utilizará para llevarlo en dos ámbitos importantes del Mantenimiento, como lo es el Monitoreo de Condiciones y la Lubricación.

Dentro de los términos relacionados se encuentran los siguientes conceptos:

¿Qué es un proceso? “Un proceso es una competencia de la organización que le agrega valor al cliente y a las demás partes interesadas a través del trabajo en equipo de personas, en una secuencia organizada de actividades, interacciones, estructura y recursos que trasciende a las áreas” (Bravo, 2016)².

La gestión de procesos (GP) es una disciplina de gestión que ayuda a la dirección de la empresa a identificar, modelar, diseñar, controlar, mejorar y hacer más productivos los procesos de la organización para lograr la confianza del cliente. La estrategia de la organización aporta las definiciones necesarias en un contexto de amplia participación de todos sus integrantes, donde los especialistas en procesos son facilitadores. Sin pretender agotar el tema con esa definición, porque la gestión de procesos es todavía una disciplina en formación. El gran objetivo de la gestión de procesos es aumentar la productividad de las organizaciones. La productividad incluye eficiencia y eficacia. Eficiencia para optimizar el uso de recursos (hacer más con menos). Eficacia para lograr objetivos hacia el exterior de la organización: cumplir las necesidades de los clientes para agregarles valor y satisfacer restricciones de las demás partes interesadas. (Bravo, 2016)

La gestión de procesos ha de buscar el factor de éxito:

² Resumen Libro Rediseño de procesos, autor Juan Bravo Carrasco, 2016

Cuando los empleados reconocen que sus actividades individuales son parte de algo mayor, se alinean en torno a metas comunes:

- La estrategia general de la EMPRESA
- La satisfacción del cliente
- Y si se animan, ir más allá del día a día, estimulando su talento creativo.

Si no, es posible que ocurra que las personas de la empresa no conozcan los procesos en los que están involucrados. Existiría una falta de alineación entre los procesos y los objetivos. Los procesos que están detectados no se viven en el día a día porque no están actualizados, y la empresa se dedica a solucionar los problemas diarios”³. (Itziarlecea, 2018)

5.2.2.3.1. Lean Management

La excelencia operacional en el mantenimiento es el objetivo de este modelo, basado en la metodología Lean Management, con lo cual pretendemos aumentar la eficiencia operacional, productividad tanto del personal encargado del área predictiva como del equipo de mantenimiento en general, contención y optimización de costos, e influenciar un cambio cultural basado en la mejora continua.

Lean es un sistema integrado de principios, sistemas operacionales y herramientas enfocado en hacer las cosas de manera correcta, en el tiempo necesario y en la cantidad necesaria, minimizando los desperdicios y la variabilidad, siendo flexible y abierto a los cambios manteniendo foco en el cliente.

En términos simples, lean es una metodología para identificar y remover la “grasa” de los procesos. En este modelo, la grasa la podemos sobre utilización de equipos o insumos (repuestos o lubricantes), exceso de mantención, exceso de trabajos correctivos, sobre stock de inventarios, reprocesamiento y búsqueda de herramientas para la ejecución de las actividades. A su vez, existen herramientas específicas para abordar desafíos operacionales que permiten identificar y eliminar los desperdicios en un marco de estandarización, la herramienta que implementaremos en esta tesina es kaizen.

5.2.2.3.2. Mejora Continua (Kaizen)

El término Kaizen es relativamente nuevo. De acuerdo con su creador, Masaaki Imai, proviene de dos ideogramas japoneses “Kai” que significa cambio y “zen” que quiere decir para mejorar. Por lo que se puede decir que Kaizen es “cambio para mejorar” o “mejoramiento continuo”, cómo comúnmente se le conoce.

La estrategia Kaizen es el concepto de más importancia en la administración japonesa (la clave del éxito competitivo) y como filosofía supone que nuestra forma de vida sea tanto en el trabajo, vida social o familiar, y merece ser mejorada constantemente.

Esta filosofía supone varios pasos que nos permiten analizar variables críticas del proceso y buscar su mejora en forma diaria con la ayuda del equipo de trabajo con el objetivo de tener una mejora de calidad y reducir los costos con simple trabajo diario (disciplina). Puesta esta metodología en acción,

³ <http://www.guiadelacalidad.com/gestion-por-procesos/>

se hace posible la mejora continua y lograr de tal forma los más altos niveles en los procesos que se trabaja, por lo que requiere constancia y disciplina.

5.2.2.3.3. *Círculo de Deming*

“El Ciclo PDCA (o círculo de Deming), es una estrategia de mejora continua de la calidad en cuatro pasos, basada en un concepto ideado por Walter A. Shewhart. También denominado espiral de mejora continua. El modelo fue perfeccionado por Deming quien lo toma y lo difunde como una alternativa para encarar los proyectos de acción o mejora sobre los procesos propios, externos o internos (por tal motivo lo llaman el ciclo de Deming).

Los resultados de la implementación de este ciclo permiten a las empresas una mejora integral en los siguientes aspectos:

- Competitividad
- Productos y servicios
- Mejora continua de la Calidad
- Reducción de los costos
- Optimización de la productividad
- Reducción de los precios
- Aumento de la rentabilidad de la empresa u organización.

El círculo de Deming está compuesto por cuatro etapas cíclicas de forma que una vez acabada la etapa final se debe volver a la primera y repetir el ciclo de nuevo. De esta forma las actividades son revaluadas periódicamente para incorporar nuevas mejoras. Las etapas que forman el Ciclo PDCA son las siguientes:

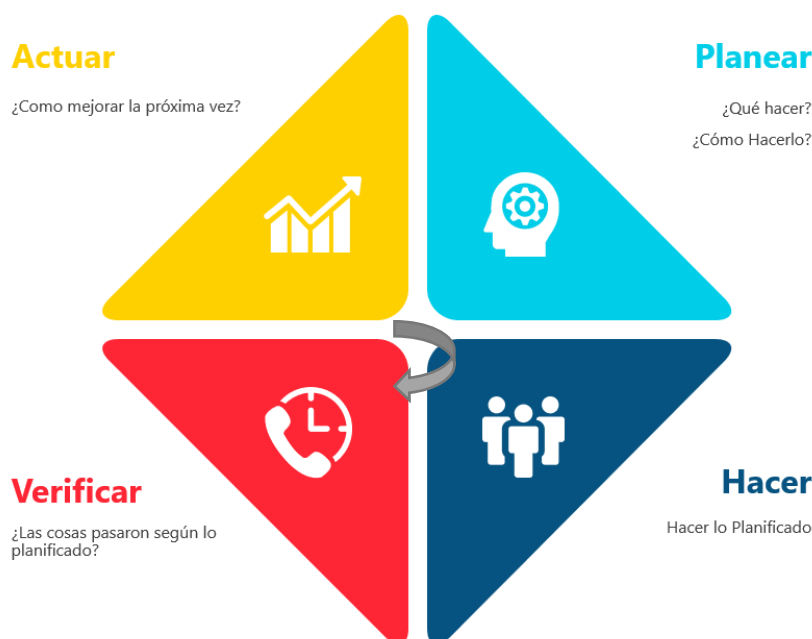


Figura 4: Ciclo de Deming (Elaboración propia)

1- PLAN (planificar):

En esta etapa se trabaja en recopilar los datos para profundizar el conocimiento del proceso e identificar el problema o actividades susceptibles de mejora, la identificación del problema o actividades susceptibles de mejora, detallar las especificaciones de los resultados esperados, se establecen los objetivos a alcanzar, se fijan los indicadores de control y se definen los métodos o herramientas para conseguir los objetivos establecidos.

2 – DO (hacer/ejecutar):

Se refiere al acto de implementar la visión preestablecida o ejecutar el plan estratégico que contempla: organizar, dirigir, asignar recursos y supervisar la ejecución.

3 – CHECK (comprobar/verificar):

Una vez realizada la acción e instaurado el cambio, se debe verificar, es decir, comprobar que se alcanzan los objetivos previstos con los recursos previamente asignados. Para esto se utilizan diversas herramientas de control (Diagrama de Pareto, Check lists, KPIs, etc.).

Para evitar subjetividades, es conveniente definir previamente cuáles van a ser las herramientas de control y los criterios para decidir si la prueba ha funcionado o no.

4 – ACT (actuar):

Para terminar el ciclo se deben estudiar los resultados desde la óptica del 'redito que nos deja el trabajo en nuestro "saber hacer" (Know-how): ¿Qué aprendimos? ¿Dónde más podemos aplicarlo? ¿Cómo lo aplicaremos a gran escala? ¿De qué manera puede ser estandarizado? ¿Cómo mantendremos la mejora lograda? ¿Cómo lo extendemos a otros casos o áreas? Pero también aplicar los resultados obtenidos para identificar nuevas mejoras y reajustar los objetivos. Una vez finalizado el paso 4, se debe volver al primer paso periódicamente para estudiar nuevas mejoras a implantar.

El proceso del Ciclo de Deming se controlará simplemente recurriendo a alguno de los métodos tradicionales de seguimiento y control de proyectos.

3.3. Análisis de la situación actual

Considerando lo mencionado en el marco teórico anteriormente nos enfocaremos en contrastar lo que se realiza actualmente en el área de Mantenimiento, específicamente en los campos predictivos y lubricación, los procesos de Planificación, Ejecución y Confiabilidad en los campos de Personas, Proceso y Tecnología. Esto con el objetivo de buscar una mejora continua respecto a las brechas

encontradas apoyándonos en la metodología LEAN y excelencia operacional, que será nuestra guía para direccionar efectivamente los planes de acción.

Todos estos procesos orientarán esta tesina enfocándose en distinguir los cambios que permitirán generar desde pequeñas a grandes mejoras en la forma de trabajar, lo cual finalmente repercute en la reducción de actividades que no agregan valor, en la estandarización de los procesos, o sea, el rendimiento del trabajo.

Si bien, considerando la teoría, la metodología de excelencia operacional si se ha llevado en estos procesos en cierto nivel, esta no ha sido sistematizado en las plantas y, por lo tanto, no hay una línea continua que asegure el éxito alineado con los objetivos estratégicos. Es por esto, es que resulta relevante utilizarla como herramienta para realizar un análisis del proceso que permita identificar puntos de mejora y a partir de ello proponer un plan de mejoras que contribuya a la eliminación de actividades que no agreguen valor y permitan finalmente aportar al cumplimiento de los objetivos estratégicos con el menor esfuerzo posible.

Para esta parte, como se mencionó anteriormente, se analizarán 3 Procesos en la gestión del Monitoreo de Condiciones (Vibraciones y Lubricación); La Planificación, La ejecución y la Confiabilidad, considerando 3 ámbitos para cada uno; el proceso como tal, personas y tecnología.

3.3.1. Análisis de Variables Críticas en la Gestión de Monitoreo de condiciones por vibraciones y Lubricación

Para el análisis de los procesos de Planificación, Ejecución y Confiabilidad que son el alcance de esta tesis, según se muestra en la Figura 5 se considerarán las siguientes variables a analizar en cada proceso:

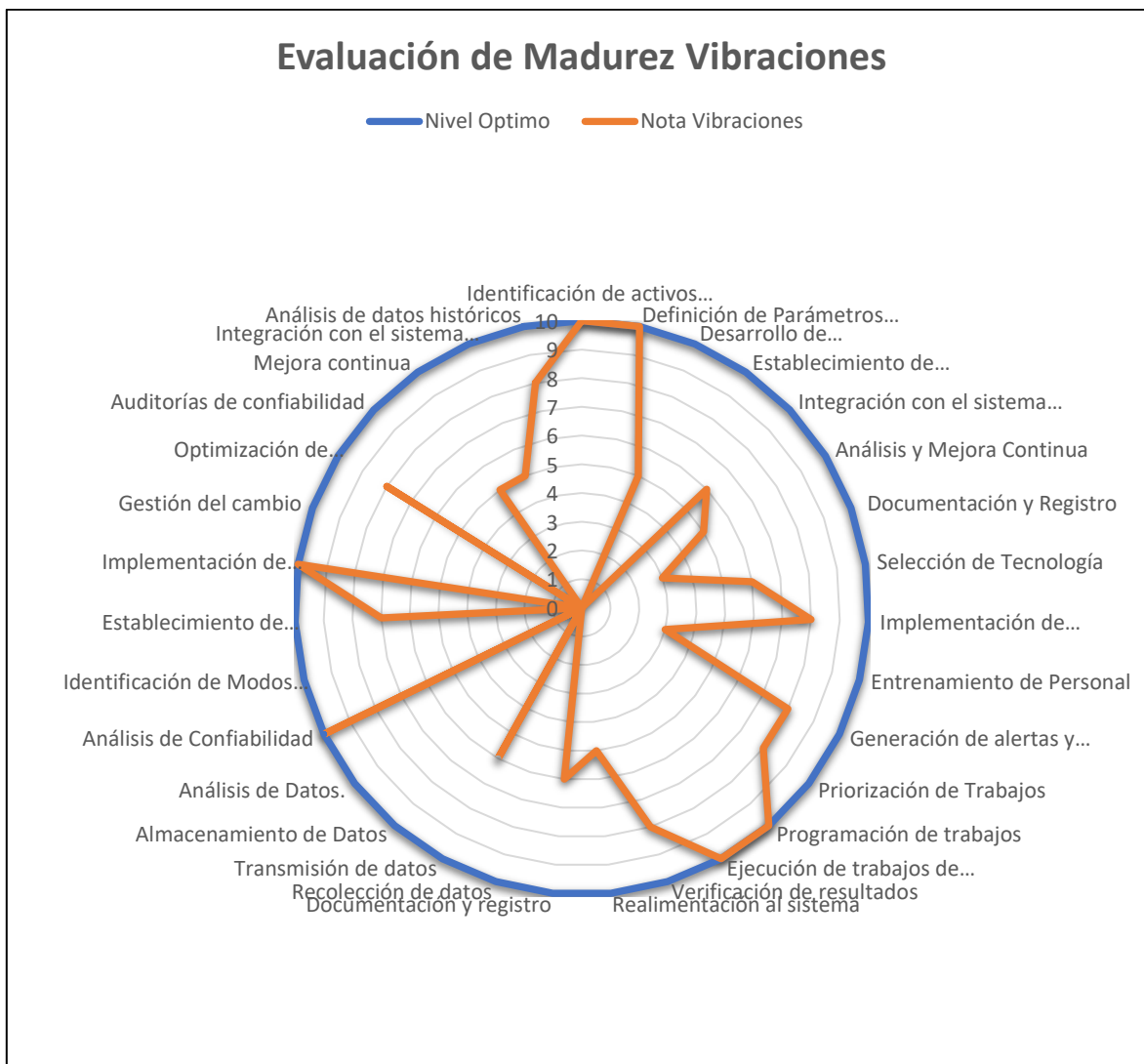


Figura 5: Medición Variables Críticas en Vibraciones

Dentro de lo evaluado, podemos ver en la figura anterior como la evaluación de madurez queda con varios puntos bajos, lo que implica un fuerte trabajo para poder nivelar a nivel global lo que es el monitoreo de vibraciones. Los principales hitos con bajo desempeño se encuentran relacionados a la gestión de mejora continua y análisis de datos, estando con una brecha menor la gestión de la planificación y ejecución en el monitoreo de vibraciones.

A continuación, en la Figura 6, se muestran los mismos puntos evaluados, pero en este caso en Lubricación.



Figura 6: Medición Variables Críticas en Lubricación

En esta se muestra un esquema similar a lo visto en el caso del monitoreo de vibraciones. En la gestión de la lubricación y salud de los aceites se encuentra con una brecha mayor en los puntos de gestión de las mejoras, así como de las lecciones aprendidas y documentación de estas.

A continuación, se explican mejor las brechas en cada proceso del mantenimiento predictivo.

3.3.2. Análisis de Situación Actual en el Proceso de Planificación

3.3.2.1. Contexto General del proceso

En este ítem se considera el proceso de planificación como un proceso crucial en el ordenamiento y la correcta asignación de recursos ligada al monitoreo de condiciones tanto para las vibraciones como la lubricación.

La gestión de activos recopila el **historial de mantenimiento** de los activos que pueden analizarse en busca de tendencias históricas. Estas tendencias se pueden usar para predecir cuándo es probable que ocurra un fallo en el futuro. Como resultado, se pueden **programar inspecciones preventivas** o reemplazos proactivos para prevenir los fallos anticipados.

El mantenimiento predictivo es una estrategia de mantenimiento que proporciona detección temprana de defectos de activos y condiciones que conducen a defectos. Una óptima planificación temporal del mantenimiento garantizará que los activos son adecuadamente mantenidos, pero sin invertir un exceso de recursos económicos que resultaría en pérdidas para la empresa e ir en la dirección de la estrategia global de esta.

3.3.2.2. Análisis del Proceso de Planificación

En este punto se analiza principalmente el modelo estratégico que existe actualmente dentro del mantenimiento predictivo, ya que a partir de este modelo es donde se ponen los cimientos para una correcta planificación y seguimiento de la ejecución y análisis.

En esta parte nos encontramos con un desarrollado a nivel de estructura de planificación, con matrices y rutas desarrolladas e ingresadas en la herramienta ERP. También se tienen los criterios de alarmas para definir cuando un equipo o lubricante está en condiciones no normales y se debe generar alguna acción.

Referente a procedimientos y protocolos estandarizados hay bajo nivel, teniendo sólo procedimientos de instalación de sensores y toma de muestras, pero no de como ejecutar las mediciones ni referente a los diagnósticos en base a los resultados. Estos procedimientos también tienen que formar parte integral del flujo de trabajo en estas técnicas, y es por ahí donde no se encuentran tan maduras las técnicas de medición ni tampoco los flujos que se deben seguir para realizar un correcto trabajo en todo su ciclo.

Lo expuesto en el párrafo anterior, nos da también una idea de la necesidad de maduración para tener un proceso sostenible y que ayude a gestionar de manera continua las mejoras en ambas técnicas. En este ámbito hay información, pero esta no se lleva de manera constante y se pierde en el tiempo sin poder captar todos los beneficios a partir de las técnicas predictivas analizadas.

Existe documentación y registros de las mejoras, pero no está establecido a nivel transversal, y hay poco conocimiento de los canales de repositorio de la información lo que hace que mucha de esta se pierda sin quedar documentada.

Existen tecnologías ya probadas y aprobadas, pero no se ha definido de manera formal la utilización de ellas, así como también, lo mismo, para los sistemas de monitoreo.

La persona que lleva a cabo la gestión predictiva y los análisis respectivos no cuenta con certificaciones en las áreas, esto principalmente porque es una persona con poca experiencia en el área.

A continuación, en la Tabla 2, se muestra el análisis y descripción de las brechas en el ámbito de la planificación considerando tanto vibraciones como lubricación.

Proceso	Dimensión	Variables críticas a analizar	Vibraciones	Lubricación
Planificación	Proceso	Identificación de activos críticos	Matriz de activos definidos tanto para la medición en terreno como para la sensorización. Definidas rutas y listado de	Definidas las Unidades Hidráulicas críticas, donde se evalúa la salud de los aceites de estas.
		Definición de Parámetros de Monitoreo	Definidos según norma de mantenimiento predictivo parámetros de alarma	Definidos los parámetros de salud para la medición de aceites
		Desarrollo de Procedimientos de Monitoreo	Existen procedimientos para sensorización pero faltan para la toma de mediciones en	Existen procedimientos de toma de muestra pero no estandarizado
		Establecimiento de Protocolos de respuesta	No existe protocolo de respuesta formalizado en base a niveles de alarma predictiva	Existe protocolo de medición pero falta madurar la idea en la planta. La forma de llevarlo no está totalmente aprendido
		Integración con el sistema de gestión de mantenimiento	Existe una integración en la gestión del mantenimiento, pero se requiere mayor maduración en el flujo	Existe una integración en la gestión del mantenimiento, pero se requiere mayor maduración en el flujo
		Análisis y Mejora Continua	El diagrama de flujo está bien comprendido y seguido por los integrantes del programa, esta formalizarlo pero aún no existe un seguimiento continuo maduro	El diagrama de flujo está bien comprendido y seguido por los integrantes del programa, pero no está formalizado y no existe un seguimiento continuo
		Documentación y Registro	Existe un seguimiento a los casos exitosos, pero no van quedando documentados	Existe un seguimiento a los casos exitosos, pero no van quedando documentados
	Tecnología	Selección de Tecnología	La definición de las tecnologías está definida pero no formalizada dentro de procedimientos	La definición de las tecnologías no está definida completamente aún
		Implementación de Sistemas de Monitoreo	Se encuentran sistemas de monitoreo implementados pero falta completar la madurez en su seguimiento y gestión	Se encuentran sistemas de monitoreo no implementado en su totalidad aún, y falta completar la madurez en su seguimiento y gestión
	Personas	Entrenamiento de Personal	Se tiene capacitación informal pero no	Se tiene capacitación informal pero no

Tabla 2: Descripción de Brechas en Planificación: Dimensiones de Proceso, Tecnología y Personas

3.3.3. Análisis de Situación del Proceso de Ejecución

3.3.3.1. Contexto General

A nivel de proceso de Ejecución del Mantenimiento desde el Monitoreo de Condiciones estudiamos, al igual que en Planificación, los ámbitos de: Procesos, personas y tecnología.

En el mantenimiento predictivo, la dimensión de la ejecución del mantenimiento se refiere a la implementación de las acciones correctivas o preventivas recomendadas por el sistema de monitoreo y análisis de datos. Esta dimensión implica llevar a cabo las actividades necesarias para mantener o mejorar el rendimiento de los activos, basándose en las indicaciones proporcionadas por las herramientas de monitoreo.

La ejecución del mantenimiento en el contexto predictivo puede incluir tareas como la programación de actividades de mantenimiento en momentos óptimos para minimizar el impacto en la producción, la adquisición de repuestos o materiales necesarios, la asignación de personal adecuado, la realización de las inspecciones o reparaciones necesarias, y la verificación de que las acciones tomadas han sido efectivas para prevenir o mitigar fallas en los equipos.

3.3.3.2. Análisis del Proceso de Ejecución

Dentro de la planta, actualmente podemos decir que, en cuanto a la generación de alertas y notificaciones existe una disciplina medianamente adquirida, esto porque se generan, pero aún van quedando muchos trabajos fuera de registro por la alta diversificación de trabajos que tiene la persona encargada de realizarlos. A causa de esto, muchos trabajos se desarrollan por conversaciones, perdiéndose una parte importante de los trabajos en cuanto a estadística y análisis futuros.

Por otra parte, la priorización de trabajos se tiene en cuanto a la criticidad de los resultados de diagnósticos, pero en cuanto a esto último aún falta conocimiento para que esta priorización sea completamente acertada.

En cuanto a la programación de trabajos, existe una buena comunicación entre planificación y predictivo, por lo tanto, existe fluidez en la programación y la ejecución de los trabajos de mantenimiento detectados por los análisis. El problema en este sentido empieza en la verificación de la asertividad de estos, a pesar de que se realiza de manera puntual, no se realiza un control viendo variaciones en el tiempo porque existe una retroalimentación en el sistema y documentación de bajo nivel.

Ya pasando al ámbito de la tecnología, la planta no tiene un equipo analizador de vibraciones, pero si un contador de partículas para el estudio de la salud del aceite in situ, pero no se utiliza con regularidad, por lo tanto, no genera el beneficio que debería tener. Considerando lo anterior, tenemos que sólo la plataforma online es la que almacena datos en vibraciones, y en cuanto a lubricación no existe el almacenamiento de datos.

Por parte de la capacidad del personal de la planta, tenemos un déficit de capacitaciones en ambos tópicos (lubricación y vibraciones).

Proceso	Dimensión	Variables críticas a analizar	Vibraciones	Lubricación
Ejecución	Proceso	Generación de alertas y notificaciones	Existe encargado Predictivo que realiza los avisos y notificaciones según criticidades.	Existe encargado Predictivo que realiza los avisos y notificaciones según criticidades.
		Priorización de Trabajos	Existe encargado Predictivo que realiza los avisos y notificaciones según criticidades. Falta realizar seguimiento continuo a la ejecución de ellos.	El encargado de confiabilidad recibe criticidades pero aún no genera avisos de una manera constante y tampoco le hace seguimiento
		Programación de trabajos	Se programan trabajos correctivos de manera anticipada y a través de avisos	Se programan trabajos a través de avisos desde los diagnósticos a los aceites
		Ejecución de trabajos de mantenimiento	Los trabajos programados se ejecutan de acuerdo a requerimiento de los diagnósticos predictivos	Los trabajos programados se ejecutan de acuerdo a requerimiento de los diagnósticos predictivos
		Verificación de resultados	Se hace un seguimiento a la realización de los trabajos pero no de manera disciplinada.	No se realiza un seguimiento a los resultados de los trabajos programados
		Realimentación al sistema	Se trabaja con SAP, definiendo categoría PRED y a través de avisos predictivos. Falta la realimentación de resultados de los trabajos	Se trabaja con SAP, definiendo categoría PRED y a través de avisos predictivos. Falta la realimentación de resultados de los trabajos
		Documentación y registro	Se tiene registro de los trabajos pero no de manera constante, falta madurar la cultura de información	Se tiene registro de los trabajos pero no de manera constante, falta madurar la cultura de información
	Tecnología	Recolección de datos	No se tiene instrumento especializado para recolección de datos	Se tiene equipo contador de partículas para definir salud de aceites, pero no se utiliza de una manera habitual.
		Transmisión de datos	Existe una plataforma de monitoreo continuo, aún en proceso de sensorización	Existe una plataforma de análisis de aceites, la cual entrega resultados mensuales de las mediciones y genera informes puntuales pero sin tendencias.
		Almacenamiento de Datos	No se almacenan los datos	No se almacenan los datos
	Personas	Análisis de Datos	No se tiene persona capacitada para analizar datos, pendiente certificación	No se tiene persona capacitada para analizar datos, pendiente certificación

Tabla 3: Descripción de Brechas en Ejecución: Dimensiones de Proceso, Tecnología y Personas

3.3.4. Análisis de Situación del Proceso de Confiabilidad

3.3.4.1. Contexto General

En el Mantenimiento predictivo, la dimensión de confiabilidad se refiere a la capacidad del sistema de monitoreo y análisis de datos para predecir con precisión la condición futura de los activos y la efectividad de las acciones de mantenimiento recomendadas en función de esas predicciones. Esta

dimensión está relacionada con la fiabilidad de las tecnologías de monitoreo utilizadas y la confianza en los datos y recomendaciones que generan.

Para que la dimensión de confiabilidad sea alta en el mantenimiento predictivo, es fundamental que las herramientas de monitoreo sean precisas, consistentes y capaces de detectar de manera confiable los indicadores de desempeño o de deterioro de los activos. Además, se requiere que los algoritmos utilizados para el análisis de datos sean robustos y estén respaldados por datos históricos y modelos predictivos validado.

Una dimensión de confiabilidad sólida en el mantenimiento predictivo es fundamental para garantizar que las acciones de mantenimiento se realicen de manera oportuna y eficaz, lo que a su vez contribuye a mejorar la disponibilidad de los activos, reducir los costos operativos y prolongar su vida útil.

3.3.4.2. Análisis del Proceso de Confiabilidad

A nivel de proceso de Confiabilidad, en la planta se tienen análisis de criticidad, es más, la planta ya tiene la evaluación de todos los equipos de la planta y en base a este se definieron los equipos que serían sensorizados y las unidades que tendrán su ruta de lubricación. Por otro lado, y siguiente en la Confiabilidad, los análisis de modo de falla no se realizan, sólo se ven análisis causa raíz, pero donde la criticidad es más alta no se define un listado de modos de fallas por equipos para poder definir las soluciones tanto preventivas como correctivas para evitarlas.

Por parte de los umbrales, estos están definidos para la mayoría de los sistemas, quedando cerca de un 30% pendiente y también la forma que se les hará seguimiento de manera automática.

Por otro lado, y acompañando lo que se expuso en el primer párrafo, la planta cuenta con rutas tanto de vibraciones como de lubricación, pero tienen la misma frecuencia para todos los equipos, quedando pendiente esta definición según criticidad y como consecuencia la estrategia idónea de mantenimiento.

Considerando los proyectos de mejora tomando estas dos herramientas, no se tiene una gestión del cambio en vibraciones y en lubricación sólo se exponen mejoras exitosas, pero no se le hace un continuo seguimiento al resultado ni beneficios de estas.

Las auditorías de lubricación y predictivo no se encuentran realizadas en función de estandarizar con respecto a las normas las diferentes herramientas. Este será un importante puntapié para poder avanzar con la mejora continua en ambos sistemas, ya que están desarrolladas a un nivel medio, principalmente por el nivel de seguimiento de estas y también por la baja integración con el sistema de gestión de mantenimiento de la planta.

Y, por último, y considerando en muchas partes lo expuesto anteriormente, no existe un análisis frecuencia basado en la historia. Si bien hay un análisis de criticidad, este es más ligado al fabricante, pero se pierde un poco a la asertividad en los resultados por el bajo nexo que hay con la historia real de la planta.

A continuación, en la Tabla 4, se muestra la descripción de las diferentes dimensiones y tópicos analizados en los puntos de vibración y lubricación.

Proceso	Dimensión	Variables críticas a analizar	Vibraciones	Lubricación
Confiabilidad	Proceso	Análisis de Confiabilidad	Existe una matriz de criticidad de la planta que se actualiza cada dos años. De acá se definen los equipos críticos a monitorear	Existe una matriz de criticidad de la planta que se actualiza cada dos años. De acá se definen los equipos críticos a monitorear
		Identificación de Modos de Falla	No existe una matriz formal de identificación de modos de falla de los equipos críticos	No existe una matriz formal de identificación de modos de falla de los equipos críticos
		Establecimiento de umbrales y parámetros	En proceso de desarrollo listado de alarmas y parámetros de trabajo normal.	En proceso de desarrollo listado de alarmas y parámetros de trabajo normal.
		Implementación de programas de Mantenimiento predictivo	Existen rutas de monitoreo de vibraciones que se trabajan con empresa contratista	Existe ruta de monitoreo de estado de aceites en unidades críticas
		Gestión del cambio	No existe estrategia para gestionar los cambios o mejoras en mantenimiento predictivo. Las mejoras son puntuales pero no se documenta el beneficio ni evalúan mejoras sistemáticamente	Se realizan análisis de mejoras constantemente en función de beneficios en costo, confiabilidad y medioambiental pero no se dejan documentados ni hay estrategia de seguimiento de resultados
		Optimización de estrategias de mantenimiento	Se realiza evaluación en función de equipos críticos y se van evaluando anualmente. Falta documentación de los cambios que se van haciendo	Se realiza evaluación en función de equipos críticos y se van evaluando anualmente. Falta documentación de los cambios que se van haciendo
		Auditorías de confiabilidad	No se realizan auditorías de confiabilidad del mantenimiento predictivo	No se realizan auditorías de confiabilidad del mantenimiento predictivo
	Tecnología	Mejora continua	Existe evaluación continua de las tecnologías utilizadas pero no se realiza un seguimiento formal a sus resultados	Existe evaluación continua de las tecnologías utilizadas pero no se realiza un seguimiento formal a sus resultados
		Integración con el sistema de gestión de mantenimiento	Se realiza evaluación de criticidad de equipos pero no queda plasmado en sap con los resultados	No se realiza evaluación de criticidad a los equipos hidráulicos de lubricación
	Personas	Análisis de datos históricos	Se realiza un seguimiento a datos históricos para evaluar tendencias y buscar mejoras. Falta madurar la disciplina	No se realiza un seguimiento a datos de salud de aceite de manera periódica

Tabla 4: Descripción de Brechas en Confiabilidad: Dimensiones de Proceso, Tecnología y Personas

3.4. Análisis de Brechas en las dimensiones de Procesos, Tecnología y Personas

3.4.1. Análisis de Brechas

La efectividad de un proceso integrado de gestión de confiabilidad y mantenimiento sólo puede evaluarse en función del análisis exhaustivo de una amplia variedad de factores que, en su conjunto, constituyen la contribución del mantenimiento a los procesos operativos y de producción de un activo industrial.

Dentro de lo expuesto en el punto 3.3. vimos que tenemos una gran disparidad entre las diferentes dimensiones tanto en vibraciones como en lubricación. El primer objetivo que perseguimos es buscar hacer las cosas correctas correctamente, para aumentar la eficiencia de los procesos de vibraciones y lubricación aumentando la disponibilidad, la seguridad y optimización de recursos desde el punto de vista estratégico del mantenimiento.

3.4.1.1. Descripción de las Dimensiones de Análisis

Anteriormente mencionábamos lo importante que son las diferentes dimensiones analizadas en este estudio, tanto personas, como procesos y tecnología juegan un papel sumamente importante para la

gestión y administración del mantenimiento predictivo. A continuación, se describe el papel que cada una ocupa en este análisis.

Procesos /Personas: en la metodología utilizada se realiza de manera integral buscando identificar áreas de mejora continua. Algunos aspectos claves son el valor de la persona, la eficiencia de los procesos en el ciclo de vida aumentando la productividad y la utilización de los recursos. Se busca identificar actividades que agreguen valor dentro de los procesos y personas.

Este punto es buscando una calidad alta del producto entregado, en este caso, el mantenimiento predictivo en vibraciones y en salud de aceites. La flexibilidad y adaptabilidad de las personas es clave para adaptarse a los cambios en las condiciones y mantenerse en constante aprendizaje y potenciar su participación y desarrollo dentro de la organización creando un entorno que fomente la colaboración, la creatividad y el aprendizaje continuo.

Para ir evaluando esto, el control y seguimiento es clave, tanto a la correcta planificación, la ejecución de calidad y una estrategia sólida que fomente los dos puntos anteriores en función de la confiabilidad de los activos.

En resumen, esta evaluación se centra en la creación de valor para el cliente, con el objetivo de optimizar los procesos y aumentar la competitividad de la empresa.

Tecnología: En cuanto a la tecnología, lo que buscamos es que se centre en mejorar los procesos agregando valor y siendo más eficiente, flexible y confiable por su uso por medio de las personas.

En este ámbito y de acuerdo con los análisis efectuados en conjunto con las áreas funcionales, las iniciativas se dividieron en función del sistema o la plataforma que se impacta en cada caso, donde se identificaron 5 herramientas, plataformas o sistemas que serán impactados por las mejoras propuestas.

Estos son:

SAP módulo PM: SAP es una empresa alemana que desarrolla software empresarial, siendo uno de los proveedores líderes a nivel mundial en este campo. SAP ofrece una amplia gama de soluciones empresariales, incluidos sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP), gestión de relaciones con clientes (CRM), gestión de cadena de suministro (SCM) y análisis empresarial, entre otros.

SAP PM (Plant Maintenance) es un módulo de SAP ERP que se utiliza para administrar actividades de mantenimiento preventivo y reparativo en una organización.

Algunas de sus características principales son las siguientes:

- **Gestión de Activos:** permite la gestión completa de activos, desde la planificación de mantenimiento preventivo hasta la ejecución de órdenes de trabajo de mantenimiento correctivo.
- **Planificación de Mantenimiento:** facilita la planificación y programación de actividades de mantenimiento preventivo y predictivo, con la capacidad de programar tareas de mantenimiento en función de diversas condiciones, como tiempo, uso o contador de medidas. Esto incluye la gestión de órdenes de trabajo, de servicios y de repuestos y materiales.
- **Integración con otros módulos:** Se integra estrechamente con otros módulos de SAP ERP, como Gestión de Materiales (MM), Control de Costos (CO) y Gestión de Proyectos (PS), para una gestión integrada de operaciones de mantenimiento

Equipo de medición de vibraciones portátil: conocido también como vibrómetro, un recolector los datos de vibraciones en una ruta predeterminada en la planta es la pieza clave de los programas de mantenimiento predictivo de la actualidad. Esta herramienta puede ofrecer pruebas de diagnóstico sofisticadas de los activos con problemas.

Los medidores de vibración se emplean para medir vibraciones y oscilaciones en muchas máquinas e instalaciones, así como para el desarrollo de productos (por ejemplo, de componentes o herramientas). La medición proporciona los siguientes parámetros: aceleración de la vibración, velocidad de vibración y variación de vibración. De este modo se caracterizan las vibraciones con precisión. Los medidores de vibración son portátiles y sus resultados se pueden almacenar parcialmente

Con certificaciones para usar en varios entornos peligrosos, el analizador/recolector de datos basado en rutas de Emerson también se puede usar para equilibrio de campo y la alineación láser inalámbrica. Un equipo recomendado serían un analizador de vibraciones marca Emerson que lleva los datos de vibración y las mediciones de análisis al siguiente nivel. Cuenta con recolección simultánea de datos de cuatro canales y capacidades únicas de detección de picos para la indicación más temprana de la degradación de los rodamientos y la caja de engranajes. Además de ofrecer una recolección de datos más rápida por menos tiempo en el campo o más máquinas monitorizadas, está diseñado ergonómicamente para una operación cómoda con una sola mano durante todo el día.



Figura 7: Equipo analizador de vibraciones

Equipo analizador de aceites: Es un sistema para análisis de aceite en planta, capaz de detectar la mayoría de los problemas relacionados con los lubricantes en engranes, bombas, compresores, turbinas, motores de combustión interna, unidades hidráulicas, maquinaria de proceso y más.

El proceso comienza con la recolección de muestras de aceite en frascos de vidrio o jeringas para evitar la contaminación cruzada, los cuales se deben etiquetar de la forma más precisa para conocer el origen del aceite y la máquina correspondiente.

Cuando se toma la muestra con jeringa, lo más común es llenar la jeringa y desechar el primer aceite colectado para después volver a llenarla y dejarla en reposo durante cinco minutos para que se concentren burbujas de aire.

Posteriormente se abre el grifo de la jeringa para que salga el aire. Cuando se toma la muestra con un frasco, se debe limpiar la válvula de muestro y drenar un poco el aceite para obtener el que se encuentra a la mitad.

Una vez obtenida la muestra se lleva el envase y se instala en el equipo analizador de muestras que se muestra en la siguiente figura.



Figura 8: Equipo Analizador de Salud de Aceites

Este equipo puede analizar los aceites según los siguientes tipos:

- **Fisicoquímico.** Evalúa las condiciones del lubricante de forma periódica o en momentos predeterminados.
- **De contaminación.** Se realiza para identificar la presencia de sustancias que puedan contaminar al sistema debido al desgaste o a reacciones químicas del aceite.
- **Espectrometría.** Es un método que permite identificar los elementos químicos que se encuentran en el lubricante al pasar por el proceso de combustión. Se realiza desintegrando una muestra de aceite hasta llevarla a nivel atómico para obtener información precisa sobre el desgaste e identificar los aditivos presentes y su labor.
- **Ferrografía.** Es el más utilizado ya que permite analizar las partículas de metales presentes en el aceite para identificar el grado de desgaste de una pieza determinada en el equipo o máquina.

Con este equipo se busca generar un seguimiento constante y periódico a todos los equipos críticos que utilizan aceite con la metodología SACODE descrita en el capítulo de Estado del Arte.

Sistema de Sensorización Predictiva: La tecnología de sensorización recolecta datos con sensores para analizarlos, generar pronósticos y supervisar los indicadores de salud. Orienta, así, las prioridades del mantenimiento de forma asertiva. Estos son partes fundamentales del proceso de monitoreo continuo, ayudando a evitar fallas inesperadas y aumentando la confiabilidad de los activos gracias al monitoreo continuo con espectros y diagramas capaces de mostrarle a una persona capacitada el problema que puede estar teniendo la máquina.

A continuación, se muestran las opciones que se proponen. Sensores Dynamox Automatiza la recolección de datos y dispensan la necesidad de recolección manual a través de la app.

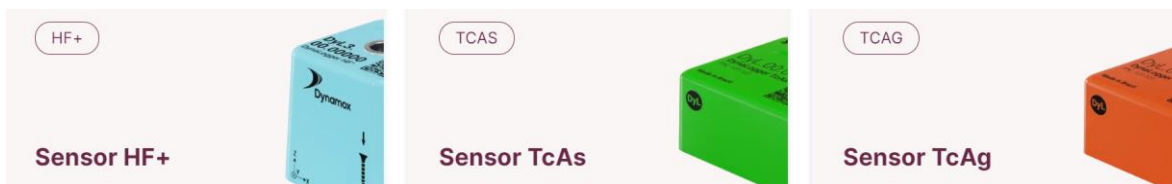


Figura 9: Sensores de Vibración

Los sensores mostrados en la Figura 9 son los que se eligen para comenzar con la implementación de equipos de monitoreo continuo en las plantas analizadas. Los sensores Dynamox están diseñados para identificar síntomas de modos de falla o defectos en maquinaria y equipos en una amplia variedad de aplicaciones de campo. Gracias a su amplio espectro de frecuencias, ofrecen un monitoreo completo en términos de vibración triaxial y temperatura para equipos de baja a alta velocidad. Además, la solución cuenta con una plataforma en línea, sin necesidad de instalación local, con diversas herramientas que ayudan en el análisis de datos y permiten una supervisión constante del estado de los activos. Los principales activos que pueden ser monitoreados son:

- Motores.
- Bombas.
- Ventiladores.
- Reductores.
- Rodillos y Frenos
- Compresores.
- Rodamientos de alta y baja velocidad.

3.4.2. Análisis de Brechas en Monitoreo de Vibraciones

En el ámbito del monitoreo de Vibraciones tenemos una gran variedad de puntos evaluados, siendo categorizados según procesos (Planificación, Ejecución y Confiabilidad), sus dimensiones (Procesos, Tecnología y Personas) y como apuntan estos a los objetivos que evaluaremos dentro de este informe (disponibilidad, seguridad y optimización de recursos).

Para poder entender de mejor manera cada uno de los ámbitos evaluados, es que los separamos por proceso (Planificación, Ejecución y Confiabilidad), y a cada uno de ellos lo evaluaremos en las tres dimensiones que son Procesos, Tecnología y Personas.

Con esto podremos ver en qué grado cada una de las dimensiones tiene mayor influencia en los procesos, y así poder priorizar en el desarrollo del plan de trabajo.

Lo principal del siguiente análisis es que se consideran los objetivos principales de la tesis, para poder tener las brechas acordes a estos y acotar los resultados de una manera más precisa.

3.4.2.1. Planificación

Sabemos que la planificación del mantenimiento es el proceso de determinar qué trabajo de mantenimiento se debe realizar y cómo se debe realizar. Llevándolo al monitoreo de condiciones, un plan sólido se basa en el "por qué" de las tareas de monitoreo y debe actualizarse constantemente a medida que los datos se vuelven más completos o la criticidad de los activos va variando. Esto último es consecuencia también del buen trabajo del monitoreo de condiciones, ya que la probabilidad de falla se va reduciendo y, por lo tanto, la criticidad se modifica.

VARIABLES CRÍTICAS A ANALIZAR	PROCESOS	BRECHA TECNOLOGÍA	PERSONAS	OBJETIVOS QUE IMPACTA LA MEJORA
Desarrollo de Procedimientos de Monitoreo	Desarrollar Procedimientos de análisis de variables y de método de toma de datos en campo.			AUMENTAR DISPONIBILIDAD
Establecimiento de Protocolos de respuesta	Protocolo de respuesta cuando para confirmación o verificación de			AUMENTAR LA SEGURIDAD
Análisis y Mejora Continua			Definir cartillas de Mejoras	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD / SEGURIDAD
Documentación y Registro	Crear Carpeta o sistema para almacenar las cartillas			OPTIMIZAR RCURSOS
Integración con el sistema de gestión de mantenimiento		Cargar procedimientos y documentos en Rutas de monitoreo		OPTIMIZAR RCURSOS
Implementación de Sistemas de Monitoreo		Instalar los sensores críticos		AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD / SEGURIDAD
Entrenamiento de Personal			Definir fecha de curso de certificación en monitoreo de condiciones	AUMENTAR DISPONIBILIDAD
Selección de Tecnología		Comprar instrumento con tecnología seleccionada		OPTIMIZAR RCURSOS

Tabla 5: Acciones según brechas en Planificación en Vibraciones

De la Tabla 5 podemos ver que, a nivel transversal en los objetivos de la tesis, la dimensión procesos es la que más influencia tiene, dejando más atrás los procesos de tecnología y personas.

Lo anterior principalmente por la fuerte influencia de los procedimientos y protocolos realizados para realizar una tarea de buena calidad. La falta de estos y de la gestión de la información es, en muchos casos, la causa de una disponibilidad baja por la baja confiabilidad de los trabajos realizados o porque lo que se hace no queda registrado en procedimientos para las lecciones aprendidas.

En cuanto a los procesos de tecnología y persona, se mencionan las brechas que hay en la sensorización en el primer caso, donde contar con esta tecnología ayuda a llevar un control continuo y también verificación de los trabajos para la asertividad de los diagnósticos, y en el segundo caso, la capacidad de las personas para poder realizar estos diagnósticos de manera correcta y poder tomar las decisiones respecto a ellos.

Lo más importante en la corrección de estas brechas es tener una base sólida para poder comenzar con la estrategia ya que, el área de planificación es la que maneja de manera global lo que se hacer en el departamento de mantenimiento.

3.4.2.2. Ejecución

Ya pasando a la ejecución del mantenimiento predictivo, donde es muy importante tener personas dedicadas a la ejecución y control de las diferentes tareas que se realices, ya que uno de los mayores problemas en este punto, es el poco peso que se le da por no saber captar el beneficio con resultados tanto técnicos como económicos.

En este punto monitoreo de condiciones los factores procesos y personas son los que tiene mayor cantidad de brechas, principalmente, y considerando lo que mostramos en proceso de planificación, es la correcta ejecución de los procedimientos y la capacidad del equipo de ejecutar las acciones que se rescatan desde el diagnóstico predictivo.

Para esto es muy importante que el área de mantenimiento preventivo también se sume y en conjunto tengan fuertes habilidad de análisis de falla en terreno y también la capacidad de ir documentando los hallazgos tanto en la ejecución del mantenimiento predictivo como también al momento de realizar las tareas y poner los resultados obtenidos.

Dentro de los objetivos que se persiguen en la ejecución son aumentar la disponibilidad, la seguridad y optimizar los recursos utilizados.

VARIABLES CRÍTICAS A ANALIZAR	PROCESOS	BRECHA TECNOLOGÍA	PERSONAS	OBJETIVOS QUE IMPACTA LA MEJORA
Ejecución de trabajos de mantenimiento	Realizar seguimiento a la ejecución según procedimiento teniéndolos en			AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL / AUMENTAR LA SEGURIDAD
Verificación de resultados			Capacitar a personal en la utilización de lapiz predictivo y ejecutar la	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL
Realimentación al sistema	Realizar protocolo de cierre de trabajos, y verificar que se cumpla			AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL
Análisis de Datos.			Capacitar al personal en analisis de fallas	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL
Generación de alertas y notificaciones			Generar protocolo de generación de avisos y notificaciones así como el	OPTIMIZAR RECURSOS
Priorización de Trabajos	Difundir matriz de criticidad y criterios para priorizar trabajos			OPTIMIZAR RECURSOS
Recolección de datos		Capacitar a personal de planta en la recolección de datos y análisis de		OPTIMIZAR RECURSOS

Tabla 6: Acciones según brechas en Ejecución de Mantenimiento en Vibraciones

La corrección de las brechas en el proceso de ejecución nos permitirá mejorar la calidad de los trabajos realizados tanto por el equipo de mantenimiento preventivo como el predictivo, así como generar una base sólida de información para que el proceso de mantenimiento sea sostenible en el tiempo generando una cultura de calidad de la ejecución y de capacitación constante del equipo de mantenimiento.

3.4.2.3. Confiabilidad

Dentro del proceso de confiabilidad, tenemos ya una idea más global del mantenimiento, donde lo que se potencia es la estrategia del monitoreo de condiciones, o sea, parámetros, frecuencias, capacidades de análisis de las personas y a que equipos poner foco dentro de la ejecución de los trabajos para ser eficiente en los tiempos de mantenimiento.

En el ámbito de la confiabilidad, es muy importante ver todo este plan de manera global, destacando el análisis de los equipos críticos para ser eficientes en el uso de recursos, como en la capacidad analítica del equipo para evitar que los problemas se repitan dos veces.

Es por esto ultimo que, los objetivos que persigue la confiabilidad son la optimización de recursos y el mejoramiento constante de la disponibilidad de los activos, sobre todo de los llamados críticos.

VARIABLES CRÍTICAS A ANALIZAR	BRECHA			OBJETIVOS QUE IMPACTA LA MEJORA
	PROCESOS	TECNOLOGÍA	PERSONAS	
Identificar Modos de Falla	Generar matriz de modo de falla a partir de casos de vibraciones		Capacitar al personal en análisis de fallas	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL
Establecimiento de umbrales y parámetros	Definir los parámetros de alarma para todos los equipos evaluados	Definir estos parámetros en plataforma predictiva y equipos		AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL / OPTIMIZAR RECURSOS
Optimización de estrategias de mantenimiento	Definir frecuencia de optimización de estrategia y programar su			AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL
Análisis de Confiabilidad	Definir equipos críticos en función de su confiabilidad		Capacitar al personal en análisis de confiabilidad	OPTIMIZAR RECURSOS
Gestión del Cambio			Generar la cultura de información y documentación dentro del equipo	OPTIMIZAR RECURSOS
Mejora Continua			Generar la cultura de información y documentación dentro del equipo	OPTIMIZAR RECURSOS
Integración con el sistema de gestión de mantenimiento		Completar procedimientos de trabajo y matrices a la estrategia de		OPTIMIZAR RECURSOS

Tabla 7: Acciones según brechas en Confiabilidad en Vibraciones

Podemos ver en la Tabla 7 que están más divididas las brechas ya que es vital una sinergia entre los procesos, la tecnología utilizadas y las personas que se encuentran vinculadas a ella.

Como interrogante general de la estrategia nos preguntamos lo siguiente: cómo administrar los riesgos tolerables y que se puede hacer para reducir los costos de una manera efectiva. Para esto debemos definir matriz de equipos críticos como también una estrategia de las acciones basada en la capacidad de análisis continuo, gestión de la información y correctos procedimientos de trabajo.

3.4.3. Análisis de Brechas en Monitoreo de Aceites

En el ámbito del monitoreo de Aceites, la estrategia de análisis de brechas se repite. Considerando que la salud de aceites también es un análisis predictivo evaluando condiciones del aceite y en base a eso definir la acción a realizar.

Para este punto también es necesario tener protocolos y procedimientos, así como conocimientos en cada uno de los (Planificación, Ejecución y Confiabilidad), sus dimensiones (Procesos, Tecnología y Personas) y como apuntan estos a los objetivos que evaluaremos dentro de este informe (disponibilidad, seguridad y optimización de recursos).

3.4.3.1. Planificación

La Planificación en el ámbito de la salud del aceite también, al igual que el monitoreo de vibraciones, debe tener protocolos de trabajo, métodos de seguimiento para ver tendencias y por su puesto ir documentando todo lo que se va haciendo para tener como input en el proceso de Confiabilidad, ya que sin datos no sería posible analizar en qué punto estamos y nuevos proyectos en busca de la mejora continua.

NOMBRE DE LA MEJORA	PROCESOS	BRECHA TECNOLOGÍA	PERSONAS	OBJETIVOS QUE IMPACTA LA MEJORA
Desarrollo de Procedimientos de Monitoreo	Desarrollar protocolos de toma de muestras y procedimientos de diagnóstico			AUMENTAR DISPONIBILIDAD
Establecimiento de Protocolos de respuesta	Fortalecer Procedimiento de respuesta basado en metodología SACODE			AUMENTAR LA SEGURIDAD
Análisis y Mejora Continua			Realizar Cartillas de casos exitosos o aprendizajes en función de los análisis de lubricantes	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD / SEGURIDAD
Documentación y Registro	Crear Carpeta o sistema para almacenar las cartillas			OPTIMIZAR RECURSOS
Integración con el sistema de gestión de mantenimiento		Cargar Matriz y rutas de lubricación a Sistema SAP		OPTIMIZAR RECURSOS
Implementación de Sistemas de Monitoreo		Comprar equipo de análisis de salud de aceites	Capacitar al personal en la utilización del instrumento	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD / SEGURIDAD
Entrenamiento de Personal			Definir fecha de curso de certificación en lubricación	AUMENTAR DISPONIBILIDAD
Selección de Tecnología		Definir equipo a utilizar para el análisis de lubricantes		OPTIMIZAR RECURSOS

Tabla 8: Acciones según brechas en Planificación de Monitoreo de Aceites

Dentro de la Tabla 8 podemos ver que los puntos importantes a desarrollar definen una base sólida con protocolos y procedimientos de las tomas de muestra y también el seguimiento, que lo llamaremos SACODE, que no es más que el seguimiento de la salud, la contaminación y el desgaste de los aceites así como en cuanto a las brechas en tecnología y personas nos enfocamos en la matriz en el sistema ERP para que no dependa de las personas sino que sea parte del proceso, equipos de análisis de aceite y capacitaciones a las personas para los diagnósticos y la realización de acciones a partir de estos.

Los objetivos en este punto son globales, donde aumentar la disponibilidad, la optimización de recursos y la seguridad están en todo lo que es la planificación de trabajos de monitoreo de aceites.

3.4.3.2. Ejecución

En esta parte del análisis, nos enfocamos en las brechas que tiene el proceso de ejecución en las dimensiones ya mencionadas antes (procesos, tecnologías y personas).

En el proceso de ejecución lo más importante es que las personas que realizan los trabajos se encuentren correctamente capacitadas, así como con los procedimientos y protocolos correctos como base de su desempeño. Desde esta base se comienza con el control sobre su ejecución y la correcta aplicación de lo que se tiene en cuanto a conocimiento.

NOMBRE DE LA MEJORA	PROCESOS	BRECHA TECNOLOGÍA	PERSONAS	OBJETIVOS QUE IMPACTA LA MEJORA
Ejecución de trabajos de mantenimiento	Desarrollar procedimientos de las acciones: Cambios de aceite, microfiltrado y flushing			AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL / AUMENTAR LA SEGURIDAD
Verificación de resultados			Capacitar a personal en la utilización herramientas para ver estado de aceites	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL
Realimentación al sistema	Realizar protocolo de cierre de trabajos, y verificar que se cumpla			AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL
Análisis de Datos.			Capacitar al personal en análisis de condición de aceites	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL
Generación de alertas y notificaciones			Generar protocolo de generación de avisos y notificaciones así como el procedimiento	OPTIMIZAR RECURSOS
Priorización de Trabajos	Difundir matriz de criticidad y criterios para priorizar trabajos mediante un protocolo			OPTIMIZAR RECURSOS
Recolección de datos		Capacitar a personal de planta en los equipos de recolección de datos y como analizarlos		OPTIMIZAR RECURSOS

Tabla 9: Acciones según Brechas en Ejecución de Mantenimiento en Salud de Aceites

En Tabla 9 podemos ver que la tecnología en este punto la brecha no es tan marcada, sólo necesitando realizar capacitaciones en las tecnologías. Donde podemos encontrar hartas deficiencias es en los

procesos, por un lado, donde el desarrollo de procedimientos y protocolos en base a una matriz de criticidades es muy importante desarrollar para las personas, donde a continuación la capacitación de la ejecución y difusión es la base para que estas puedan desarrollar una tarea de calidad, por su puesto, controlando de manera continua que esto se cumpla y mantener una cultura de capacitación que se mantenga en el tiempo.

En este punto la seguridad estará considerada en la correcta ejecución de los procedimientos, desde tareas básicas como bloqueo y uso de EPP hasta la correcta ejecución de toma de muestras como de manejo de residuos peligrosos.

Por otro lado, la optimización de recursos y disponibilidad de activos está ligada al conocimiento de la gente, su capacidad de desarrollar trabajos con calidad con un conocimiento sólido en los trabajos que desarrolla y también con la conciencia de que la lubricación es un factor vital para la correcta operación de la planta.

En resumen, las brechas que identificamos se relacionarán a la eficiencia operativa, utilización de recursos y la calidad del trabajo de mantenimiento.

3.4.3.3. Confiabilidad

Liderar y mejorar la confiabilidad tiene que ver en un 90% con las personas. No se trata del Software de Gestión del Mantenimiento Informatizado (GMAO), del software de inspección o de la transformación digital que su empresa acaba de iniciar, se trata de conseguir que las personas ejecuten el mantenimiento de forma eficaz y correcta.

En base a esto, en la confiabilidad del monitoreo de condiciones de aceites, se estudia la capacidad de análisis de las personas, y la correcta capacidad de poder definir equipos críticos como también de ir generando estudios de mejora continua.

NOMBRE DE LA MEJORA	PROCESOS	BRECHA TECNOLÓGICA	PERSONAS	OBJETIVOS QUE IMPACTA LA MEJORA
Identificar Modos de Falla	Generar matriz de modo de falla a partir de casos de salud de aceites		Capacitar al personal en análisis de fallas	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL
Establecimiento de umbrales y parámetros	Definir los parámetros de alarma para todos los equipos evaluados	Definir alarmas en plataforma y equipo de análisis de aceite para tener diagnóstico		AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL / OPTIMIZAR RECURSOS
Optimización de estrategias de mantenimiento	Definir estrategia de análisis de aceites (frecuencia según criticidad)			AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL
Análisis de Confiabilidad	Definir equipos críticos en función de su confiabilidad		Capacitar al personal en análisis de confiabilidad	OPTIMIZAR RECURSOS
Gestión del Cambio			Generar la cultura de información y documentación dentro del equipo	OPTIMIZAR RECURSOS
Mejora Continua			Generar la cultura de información y documentación dentro del equipo	OPTIMIZAR RECURSOS
Integración con el sistema de gestión de mantenimiento		Completar procedimientos de trabajo y matrices a la estrategia de mantenimiento en SAP		OPTIMIZAR RECURSOS

Tabla 10: Acciones según brechas en Confiabilidad en Salud de Aceites

En base a lo descrito anteriormente, en esta evaluación se complementan en cada hito de trabajos, brechas relacionadas al mismo punto entre procesos y personas en su mayoría, ya que el objetivo es que las personas se encuentren claras con los puntos del proceso para poder ejecutar las tareas.

En la Tabla 10 podemos ver como las personas involucradas en la mejora de la confiabilidad necesitan capacitaciones en gran medida para mejorar y mantenerse motivadas. Tenemos que asegurarnos de que el liderazgo de nuestra planta encuentre las razones correctas para mejorar. El principal impulsor del cambio en una planta debe ser financiero. Por lo general, el mayor beneficio de mejorar la confiabilidad es que se reduce el costo total por unidad producida.



Pero los resultados no son inmediatos. Por lo general, la confiabilidad mejora lentamente, a menudo con un aumento inicial en el costo de mantenimiento durante los primeros seis a 12 meses. Este aumento de costo inicial se compone capacitación y herramientas. Una vez que el equipo se repara a un estado de precisión, se mejora la confiabilidad, lo que significa que podemos producir más con los mismos costos fijos (el costo por unidad disminuye).

3.5. Plan de Propuestas de Mejora

3.5.1. Listado de Mejoras

A continuación, en la Tabla 11, se muestra el listado completo de las mejoras descritas a nivel global, donde mencionamos la mejora, la describimos y definimos los objetivos que impacta.

N°	NOMBRE DE LA MEJORA	DESCRIPCIÓN DE LA MEJORA	OBJETIVOS QUE IMPACTA LA MEJORA
1	Desarrollo de Procedimientos de Monitoreo	Existen procedimientos de plataforma Online, pero se desarrollará un Procedimiento de análisis de variables y uno de método de toma de datos en campo	AUMENTAR DISPONIBILIDAD
2	Establecimiento de Protocolos de respuesta	Definir un protocolo de respuesta cuando se deba confirmar diagnóstico o verificar trabajos realizados a partir del monitoreo de condiciones	AUMENTAR LA SEGURIDAD
3	Análisis y Mejora Continua	Se llevan mejoras a nivel transversal pero se definirán cartillas de mejora en función de análisis predictivos realizados para formalizar y hacer seguimiento	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD / SEGURIDAD
4	Documentación y Registro	Cartillas mencionadas en análisis y mejora continua se guardarán en una carpeta creada para que sea visible para todos	OPTIMIZAR RECURSOS
5	Integración con el sistema de gestión de mantenimiento	Existen planes y rutas predictivas en SAP, se dejará toda la documentación y procedimientos cargados en cada plan predictivo	OPTIMIZAR RECURSOS
6	Implementación de Sistemas de Monitoreo	Terminar de instalar todos los sensores definidos como críticos	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD / SEGURIDAD
7	Entrenamiento de Personal	Realizar curso de certificación en monitoreo de condiciones. Sólo realizado curso de plataforma online	AUMENTAR DISPONIBILIDAD
8	Selección de Tecnología	Comprar instrumento seleccionado para realizar mediciones en campo	OPTIMIZAR RECURSOS
9	Ejecución de trabajos de mantenimiento	Mejorar en la Calidad de la ejecución	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL / AUMENTAR LA SEGURIDAD
10	Verificación de resultados	Mejorar proceso de verificación de resultados del mantenimiento hecho	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL
11	Realimentación al sistema	Se menciona tarea completada, pero no se adjuntan comentarios de los observado	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL
12	Análisis de Datos.	No hay análisis de datos en terreno referente al problema levantado	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL
13	Generación de alertas y notificaciones	Generar cultura de generación de avisos y notificaciones	OPTIMIZAR RECURSOS
14	Priorización de Trabajos	Mejorar trabajo en función de prioridades y criterios	OPTIMIZAR RECURSOS
15	Recolección de datos	No hay personal en planta que recolecte datos o que haga análisis en terreno	OPTIMIZAR RECURSOS
16	Identificar Modos de Falla	Forma de identificar modos de falla, sus causas y acciones	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL
17	Establecimiento de umbrales y parámetros	Parámetros para toma de decisiones	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL / OPTIMIZAR RECURSOS
18	Optimización de estrategias de mantenimiento	Evaluación periódica de la estrategia de mantención	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL
19	Análisis de Confiabilidad	Evaluación de los equipos en función a su probabilidad de falla, tiempos de reparación e indisponibilidad	OPTIMIZAR RECURSOS
20	Gestión del Cambio	Modificaciones que se realizan se van quedando documentadas y transversalizadas	OPTIMIZAR RECURSOS
21	Mejora Continua	Gestión de Casos de éxito y su impulso	OPTIMIZAR RECURSOS
22	Integración con el sistema de gestión de mantenimiento	Integrar la confiabilidad en el ERP de Gestión de Mantenimiento	OPTIMIZAR RECURSOS
23	Desarrollo de Procedimientos de Monitoreo	Tener procedimientos de toma de muestras para análisis de aceites	AUMENTAR DISPONIBILIDAD
24	Establecimiento de Protocolos de respuesta	Protocolo de respuesta cuando se deba confirmar diagnóstico o verificar trabajos realizados a partir del monitoreo de condiciones	AUMENTAR LA SEGURIDAD
25	Análisis y Mejora Continua	Se llevan mejoras a nivel transversal pero se definirán cartillas de mejora en función de análisis de lubricación	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD / SEGURIDAD
26	Documentación y Registro	Cartillas mencionadas en análisis y mejora continua se guardarán en una carpeta creada para que sea visible para todos	OPTIMIZAR RECURSOS
27	Integración con el sistema de gestión de mantenimiento	Existen planes y rutas predictivas en SAP, se dejará toda la documentación y procedimientos cargados en cada plan predictivo	OPTIMIZAR RECURSOS
28	Implementación de Sistemas de Monitoreo	Definir todas las unidades a analizar y equipo para realizarlo	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD / SEGURIDAD
29	Entrenamiento de Personal	Realizar curso de certificación en monitoreo de condiciones. Sólo realizado curso de plataforma online	AUMENTAR DISPONIBILIDAD
30	Selección de Tecnología	Comprar instrumento seleccionado para realizar mediciones en campo	OPTIMIZAR RECURSOS
31	Ejecución de trabajos de mantenimiento	Mejorar en la Calidad de la ejecución	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL / AUMENTAR LA SEGURIDAD
32	Verificación de resultados	Mejorar proceso de verificación de resultados del mantenimiento hecho	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL
33	Realimentación al sistema	Se menciona tarea completada, pero no se adjuntan comentarios de los observado	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL
34	Análisis de Datos.	No hay análisis de datos en terreno referente al problema levantado	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL
35	Generación de alertas y notificaciones	Generar cultura de generación de avisos y notificaciones	OPTIMIZAR RECURSOS
36	Priorización de Trabajos	Mejorar trabajo en función de prioridades y criterios	OPTIMIZAR RECURSOS
37	Recolección de datos	No hay personal en planta que recolecte datos o que haga análisis en terreno	OPTIMIZAR RECURSOS
38	Identificar Modos de Falla	Forma de identificar modos de falla, sus causas y acciones	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL
39	Establecimiento de umbrales y parámetros	Parámetros para toma de decisiones	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL / OPTIMIZAR RECURSOS
40	Optimización de estrategias de mantenimiento	Evaluación periódica de la estrategia de mantención	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL
41	Análisis de Confiabilidad	Evaluación de los equipos en función a su probabilidad de falla, tiempos de reparación e indisponibilidad	OPTIMIZAR RECURSOS
42	Gestión del Cambio	Modificaciones que se realizan se van quedando documentadas y transversalizadas	OPTIMIZAR RECURSOS
43	Mejora Continua	Gestión de Casos de éxito y su impulso	OPTIMIZAR RECURSOS
44	Integración con el sistema de gestión de mantenimiento	Integrar la confiabilidad en el ERP de Gestión de Mantenimiento	OPTIMIZAR RECURSOS

Tabla 11: Listado de Acciones de Mejoras

3.5.2. Matriz de Priorización de resultados

Según el listado de Mejoras descrito anteriormente, hemos identificado una serie de oportunidades que son claves para mejorar los procesos analizados en esta tesina, sin embargo, dada la cantidad de iniciativas y los esfuerzos requeridos, se vuelve esencial canalizar estas oportunidades en forma estratégica.

Para ello se hizo un trabajo de evaluación de cada potencial mejora, en función de su impacto y los esfuerzos estimados necesarios para implementarla.

Al considerar el impacto, evaluamos cómo cada mejora contribuirá a nuestros objetivos estratégicos definidos al inicio de esta tesina, es decir que no solo generen mejoras significativas en la eficiencia operativa, sino que también estén alineadas con nuestra visión a largo plazo.

Simultáneamente también debemos evaluar los esfuerzos estimados, esto nos permite asignar recursos de manera inteligente, enfocándonos en las mejoras que ofrecen el máximo beneficio con un uso eficiente de nuestros recursos.

Este enfoque de priorización nos proporciona una hoja de ruta clara y práctica para abordar las mejoras identificadas en cada proceso. Al alinear nuestras acciones con el impacto y esfuerzos estimados, estamos estableciendo un camino de mejora continua que fortalecerá nuestro trabajo y nos permitirá alcanzar nuevos niveles de eficiencia y excelencia en el mantenimiento.

En la Figura 10 se muestra el orden de prioridades con la descripción de cada una.

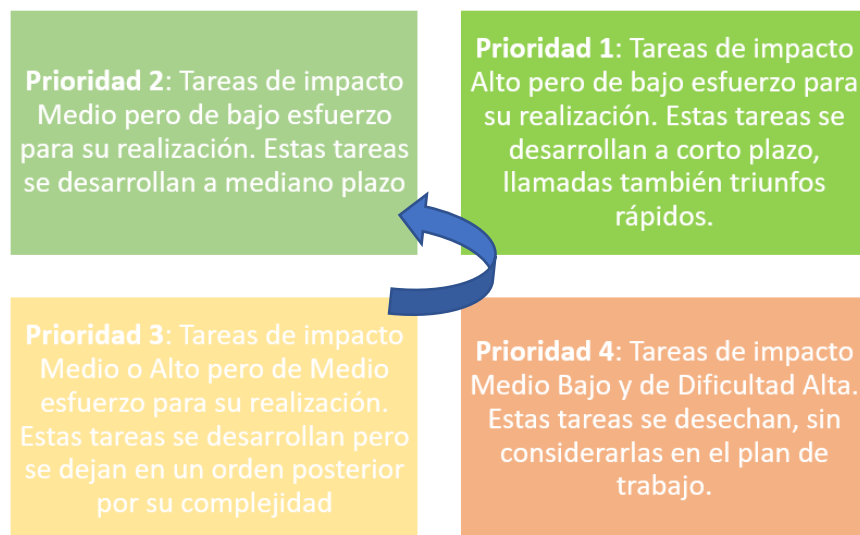


Figura 10: Matriz de Priorización de tareas

3.5.2.1. Quick Wins, Etapa I de Mejoras: Impacto Alto-Esfuerzo Bajo

Como se menciona en la Figura 10, a continuación, se muestran como primera prioridad las tareas que tienen alto o medio impacto, pero con una implementación de bajo costo y de poco tiempo para su ejecución.

Podemos ver como en las Tabla 12 y Tabla 13 tenemos en gran medida los trabajos de planificación y confiabilidad, o sea la estrategia del monitoreo de condiciones. Aquí tenemos distribuidos procedimientos, protocolos de trabajo y cartillas de análisis y mejoras con la creación de una ubicación única donde vaya quedando la información recopilada en la historia de trabajo.

Para una definición 1, o sea Quick Wins, tomaremos un plazo de 3 meses para su ejecución, considerando que existe un equipo para distribuir las diferentes tareas.

N°	NOMBRE DE LA MEJORA	TAREA	OBJETIVOS QUE IMPACTA LA MEJORA	IMPACTO	IMPLEMENTACIÓN COSTO	IMPLEMENTACIÓN TIEMPO	NIVEL DE ESFUERZO	QUICK WINS	PRIORIDAD DE IMPLEMENTACIÓN
1	Desarrollo de Procedimientos de Monitoreo	Desarrollar Procedimientos de análisis de variables y de método de toma de datos en campo.	AUMENTAR DISPONIBILIDAD	ALTO	BAJO	BAJO	BAJO	QUICK WINS	1
2	Establecimiento de Protocolos de respuesta	Protocolo de respuesta cuando para confirmación o verificación de diagnóstico	AUMENTAR LA SEGURIDAD	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	QUICK WINS	1
3	Análisis y Mejora Continua	Definir cartillas de Mejoras	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD / SEGURIDAD	ALTO	BAJO	BAJO	BAJO	QUICK WINS	1
4	Documentación y Registro	Crear Carpeta o sistema para almacenar las cartillas	OPTIMIZAR RECURSOS	ALTO	BAJO	BAJO	BAJO	QUICK WINS	1
5	Integración con el sistema de gestión de mantenimiento	Cargar procedimientos y documentos en Rutas de monitoreo	OPTIMIZAR RECURSOS	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	QUICK WINS	1
10	Verificación de resultados	Capacitar a personal en la utilización de lápiz predictivo y ejecutar la medición cada vez que hagan mantención	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL	ALTO	BAJO	BAJO	BAJO	QUICK WINS	1
14	Priorización de Trabajos	Difundir matriz de criticidad y criterios para priorizar trabajos mediante un protocolo	OPTIMIZAR RECURSOS	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	QUICK WINS	1
17	Establecimiento de umbrales y parámetros	Definir los parámetros de alarma para todos los equipos evaluados	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL / OPTIMIZAR RECURSOS	ALTO	BAJO	BAJO	BAJO	QUICK WINS	1
18	Optimización de estrategias de mantenimiento	Definir frecuencia de optimización de estrategia y programar su realización	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL	ALTO	BAJO	BAJO	BAJO	QUICK WINS	1
22	Integración con el sistema de gestión de mantenimiento	Completar procedimientos de trabajo y matrices a la estrategia de mantenimiento en SAP	OPTIMIZAR RECURSOS	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	QUICK WINS	1

Tabla 12: Etapa 1 Quick Wins, acciones rápidas de alto y medio impacto en Vibraciones

N°	NOMBRE DE LA MEJORA	TAREA	OBJETIVOS QUE IMPACTA LA MEJORA	IMPACTO	IMPLEMENTACIÓN COSTO	IMPLEMENTACIÓN TIEMPO	ESFUERZO	QUICK WINS	PRIORIDAD DE IMPLEMENTACIÓN
23	Desarrollo de Procedimientos de Monitoreo	Desarrollar protocolos de toma de muestras y procedimientos de diagnóstico	AUMENTAR DISPONIBILIDAD	ALTO	BAJO	BAJO	BAJO	QUICK WINS	1
25	Análisis y Mejora Continua	Realizar Cartillas de casos exitosos o aprendizajes en función de los análisis de lubricantes	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD / SEGURIDAD	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	QUICK WINS	1
26	Documentación y Registro	Crear Carpeta o sistema para almacenar las cartillas	OPTIMIZAR RECURSOS	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	QUICK WINS	1
27	Integración con el sistema de gestión de mantenimiento	Cargar Matriz y rutas de lubricación a Sistema SAP	OPTIMIZAR RECURSOS	ALTO	BAJO	BAJO	BAJO	QUICK WINS	1
30	Selección de Tecnología	Definir equipo a utilizar para el análisis de lubricantes	OPTIMIZAR RECURSOS	ALTO	BAJO	BAJO	BAJO	QUICK WINS	1
36	Priorización de Trabajos	Difundir matriz de criticidad y criterios para priorizar trabajos mediante un protocolo	OPTIMIZAR RECURSOS	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	QUICK WINS	1
39	Establecimiento de umbrales y parámetros	Definir los parámetros de alarma para todos los equipos evaluados	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL / OPTIMIZAR RECURSOS	ALTO	BAJO	BAJO	BAJO	QUICK WINS	1
40	Optimización de estrategias de mantenimiento	Definir estrategia de análisis de aceites (frecuencia según criticidad)	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL	ALTO	BAJO	BAJO	BAJO	QUICK WINS	1
44	Integración con el sistema de gestión de mantenimiento	Completar procedimientos de trabajo y matrices a la estrategia de mantenimiento en SAP	OPTIMIZAR RECURSOS	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	QUICK WINS	1

Tabla 13: Etapa 1 Quick Wins 2, acciones rápidas de impacto medio-alto en Monitoreo de Aceites

En resumen, tenemos 19 tareas de rápida ejecución donde se atacan los 3 objetivos de la tesina, pero principalmente la optimización de recursos por ser el plan estratégico de todo el mantenimiento predictivo.

3.5.2.2. Etapa II de Mejoras: Impacto Alto-Esfuerzo Medio

N°	NOMBRE DE LA MEJORA	TAREA	OBJETIVOS QUE IMPACTA LA MEJORA	IMPACTO	IMPLEMENTACIÓN COSTO	IMPLEMENTACIÓN TIEMPO	NIVEL DE ESFUERZO	PRIORIDAD DE IMPLEMENTACIÓN
6	Implementación de Sistemas de Monitoreo	Instalar los sensores críticos	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD / SEGURIDAD	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	2
9	Ejecución de trabajos de mantenimiento	Realizar seguimiento a la ejecución según procedimiento teniéndolos en terreno	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL / AUMENTAR LA SEGURIDAD	ALTO	BAJO	MEDIO	MEDIO	2
15	Recolección de datos	Capacitar a personal de planta en la recolección de datos y análisis de ellos	OPTIMIZAR RECURSOS	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	2
16	Identificar Modos de Falla	Generar matriz de modo de falla a partir de casos de vibraciones	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL	ALTO	BAJO	MEDIO	MEDIO	2
19	Análisis de Confiabilidad	Definir equipos críticos en función de su confiabilidad	OPTIMIZAR RECURSOS	ALTO	MEDIO	ALTO	MEDIO	2

Tabla 14: Etapa 2, acciones de impacto alto y esfuerzo medio Vibraciones

N°	NOMBRE DE LA MEJORA	TAREA	OBJETIVOS QUE IMPACTA LA MEJORA	IMPACTO	IMPLEMENTACIÓN COSTO	IMPLEMENTACIÓN TIEMPO	ESFUERZO	PRIORIDAD DE IMPLEMENTACIÓN
24	Establecimiento de Protocolos de respuesta	Fortalecer Procedimiento de respuesta basado en metodología SACODE	AUMENTAR LA SEGURIDAD	ALTO	BAJO	MEDIO	MEDIO	2
28	Implementación de Sistemas de Monitoreo	Comprar y capacitar al personal en la utilización del instrumento	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD / SEGURIDAD	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	2
29	Entrenamiento de Personal	Definir fecha de curso de certificación en Lubricación	AUMENTAR DISPONIBILIDAD	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	2
31	Ejecución de trabajos de mantenimiento	Desarrollar procedimientos de las acciones: Cambios de aceite, microfiltrado y flushing	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL / AUMENTAR LA SEGURIDAD	ALTO	BAJO	MEDIO	MEDIO	2
34	Análisis de Datos.	Capacitar al personal en análisis de condición de aceites	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	2
37	Recolección de datos	Capacitar a personal de planta en los equipos de recolección de datos y como analizarlos	OPTIMIZAR RECURSOS	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	2
38	Identificar Modos de Falla	Generar matriz de modo de falla a partir de casos de salud de aceites y capacitar en análisis de falla	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL	ALTO	BAJO	MEDIO	MEDIO	2
41	Análisis de Confiabilidad	Definir equipos críticos en función de su confiabilidad y capacitar en análisis de confiabilidad	OPTIMIZAR RECURSOS	ALTO	MEDIO	ALTO	MEDIO	2

Tabla 15: Etapa 2, acciones de impacto alto y esfuerzo medio en Monitoreo de Aceites

3.5.2.3. Etapa III de mejoras:

N°	NOMBRE DE LA MEJORA	TAREA	OBJETIVOS QUE IMPACTA LA MEJORA	IMPACTO	IMPLEMENTACIÓN COSTO	IMPLEMENTACIÓN TIEMPO	NIVEL DE ESFUERZO	PRIORIDAD DE IMPLEMENTACIÓN
7	Entrenamiento de Personal	Definir fecha de curso de certificación en monitoreo de condiciones	AUMENTAR DISPONIBILIDAD	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO	4
8	Selección de Tecnología	Comprar Instrumento con tecnología seleccionada	OPTIMIZAR RECURSOS	MEDIO	ALTO	MEDIO	ALTO	4
11	Realimentación al sistema	Realizar protocolo de cierre de trabajos, y verificar que se cumpla	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL	MEDIO	BAJO	MEDIO	MEDIO	4
12	Análisis de Datos.	Capacitar al personal en análisis de fallas	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO	4
13	Generación de alertas y notificaciones	Generar protocolo de generación de avisos y notificaciones así como el procedimiento	OPTIMIZAR RECURSOS	MEDIO	BAJO	MEDIO	MEDIO	4
20	Gestión del Cambio	Generar la cultura de información y documentación dentro del equipo	OPTIMIZAR RECURSOS	MEDIO	BAJO	ALTO	MEDIO	4
21	Mejora Continua	Generar la cultura de información y documentación dentro del equipo	OPTIMIZAR RECURSOS	MEDIO	BAJO	ALTO	MEDIO	4

Tabla 16: Etapa 3, acciones a largo plazo en Monitoreo de Vibraciones

N°	NOMBRE DE LA MEJORA	TAREA	OBJETIVOS QUE IMPACTA LA MEJORA	IMPACTO	IMPLEMENTACIÓN		ESFUERZO	PRIORIDAD DE IMPLEMENTACIÓN
32	Verificación de resultados	Capacitar a personal en la utilización herramientas para ver estado de aceites	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL	MEDIO	COSTO	TIEMPO	MEDIO	4
33	Realimentación al sistema	Realizar protocolo de cierre de trabajos, y verificar que se cumpla	AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERACIONAL	MEDIO	BAJO	MEDIO	MEDIO	4
35	Generación de alertas y notificaciones	Generar protocolo de generación de avisos y notificaciones así como el procedimiento	OPTIMIZAR RECURSOS	MEDIO	BAJO	MEDIO	MEDIO	4
42	Gestión del Cambio	Generar la cultura de información y documentación dentro del equipo	OPTIMIZAR RECURSOS	MEDIO	BAJO	ALTO	MEDIO	4
43	Mejora Continua	Generar la cultura de información y documentación dentro del equipo	OPTIMIZAR RECURSOS	MEDIO	BAJO	ALTO	MEDIO	4

Tabla 17: Etapa 3, acciones a largo plazo en Monitoreo de Aceites

3.6. Resultados Obtenidos del Desarrollo de la Tesis

Dentro de los resultados obtenidos, se obtiene un plan de trabajo para cada una de las tecnologías de monitoreo desde el punto de vista estratégico hasta la correcta ejecución de estas. Diferenciaremos el plan para el monitoreo de vibraciones y por otro lado para el monitoreo de salud de aceites.

En ambos casos se expondrán en orden las actividades según número de prioridad, definiendo corto plazo dentro de los 3 primeros meses del comienzo, mediano plazo en 1 año y mediano largo plazo a 2 años. Esto principalmente para no realizar una gran cantidad de tareas al mismo tiempo, sino ir de manera ordenada y evitando sobre exigencia en los equipos de trabajo.

A continuación, ambos planes de trabajo se ponen en cada etapa orden de importancia también, poniendo las de mayor impacto por sobre las de impacto medio.



Figura 11: Plan de Trabajo Estrategia de Monitoreo de Vibraciones



Figura 12: Plan de Trabajo Estrategia de Monitoreo de Salud de Aceites

Como se puede ver en los planes de acción, los costos son bastante bajos, sólo en compra de equipos de medición y en la capacitación de las personas se genera un gasto, por lo que a nivel de empresa se considera despreciable tomando en cuenta los altos beneficios que tienen ambas acciones en evitar gastos extras por concepto de fallas de equipos.

Por otro lado, los costos se comienzan a ver desde la segunda etapa, donde comienza la etapa de compra de equipos y capacitación de personal. De todas maneras, en el ANEXO 1: Flujo de Implementación Gestión de Mantenimiento Predictivo se mostrará el flujo que se considerará para soportar la estrategia de una manera sostenible y, por sobre todo, la última etapa de generación de cultura de Mantenimiento Predictivo.

4. Conclusiones

Tras la realización de la presente tesina, es posible indicar que se ha logrado desarrollar un Programa de Excelencia Operacional para el Departamento de Confiabilidad, específicamente enfocado en el monitoreo de condiciones tanto a nivel mecánico de los activos como de la lubricación de estos. Éste considera la definición de los objetivos estratégicos del Departamento, un entendimiento de la situación actual, un análisis de los procesos, y la confección de un plan de mejoras para finalizar con su validación.

Sin embargo, el nivel de beneficio de estos procesos no es tan notorio como lo es un mantenimiento correctivo, el beneficio en la implementación de un mantenimiento predictivo recae en los eventos que se logran evitar, reduciendo los costos por trabajos fuera de programa, y por sobre todo, las altas horas que se gastan por fallas no programadas.

En particular estos procesos requieren de procedimientos estandarizados y comunicados a los miembros del área, con el fin de que estos sean utilizados en cada trabajo de inspección predictiva programado. Un proceso de gestión de mantenimiento estandarizado contribuye, además de fortalecer un nivel de madurez alto en esta, una reducción de costos por la alta disponibilidad que buscamos obtener.

Para el desarrollo del Programa de Excelencia Operacional, se realizó una revisión bibliográfica tanto a nivel de modelos de excelencia como también teoría que vaya orientada a la gestión de este modelo en libros de mantenimiento, principalmente técnicas de confiabilidad y gestión de mantenimiento como metodologías. En este sentido fue posible detectar entre otros temas, conceptos de gestión de procesos, Kaizen y el círculo de Deming, temas que se tomaron como referencia para elaborar una metodología de excelencia operacional utilizada como guía para el desarrollo del programa de excelencia operacional complementado con la teoría de mantenimiento para este departamento.

En el marco del análisis de procesos realizado, se identificaron las brechas existentes en el proceso de gestión de mantenimiento proactivo, tanto en el monitoreo de vibraciones mecánicas como en la salud de los aceites de los activos a nivel de subprocesos, desde el punto de vista de la dimensión de proceso, tecnología y personas. En este sentido, es posible ver la directa relación existente entre la principal brecha de la dimensión de procesos, falta de procedimientos, con las razones que motivan el desarrollo de la presente tesina, es decir, la falta de procedimientos documentados, difundidos y bien seguidos por el personal del departamento de mantenimiento predictivo, por lo que estandarizarlos es fundamental para generar una base sólida y sostenible en el tiempo.

Respecto de la brecha en la dimensión de tecnología, se detectan en ambos casos, la falta de equipos de análisis, factor importante para poder sustentar todo el conocimiento, y también en la generación de historia y casos exitosos para ir generando precedente con el tiempo sobre la importancia de esto e ir generando cultura de mantenimiento proactivo. Dentro de estas se presentan los costos mayores, ya que los equipos de análisis deben ser certificados y también ser calibrados cada cierto tiempo.

En la dimensión de personas, en el análisis de brechas realizado, se destaca que en los roles y responsabilidades en el proceso de gestión de mantenimiento predictivo, en su mayoría ya tienen personal, pero falta la capacitación y correctos protocolos de trabajo para su mayor fortalecimiento en los conocimientos existentes.

Es importante mencionar que, para la creación del Plan de Mejoras, se elaboró una matriz de análisis de procesos, que consideró un análisis de criticidad y de desempeño de los subprocesos que componen el proceso de gestión. Esta matriz entrega una radiografía de los subprocesos que permitió identificar los focos de mejora.

En el marco de la creación del Plan de Mejoras, fue posible generar tanto mejoras de rápida implementación (QW), como Proyectos Estratégicos (PE). Los primeros son priorizados dada su rápida implementación, ya que permiten lograr avances en el corto plazo, sin requerir de mayores esfuerzos, los segundos (PE), requieren un mayor tiempo y esfuerzo para su implementación.

Las mejoras del Plan fueron plasmadas en la matriz de impacto - esfuerzo, quedando ubicadas en la zona de priorización. Con ello se ratificó que las mejoras propuestas efectivamente generan gran impacto, con un nivel de esfuerzo realizable, lo cual incrementa la probabilidad de éxito en su implementación.

Dentro de los PE creados, es importante mencionar que el PE 3, asociado a los costos y también a los tiempos mayores de ejecución, tienen un alto impacto, dado que permitirá darle sustento y sostenibilidad a lo que se hizo en las etapas de inicio de los procesos.

Finalmente, es importante destacar que el trabajo realizado, utilizó una metodología, la cual permite elaborar planes de mejoras que contribuyan de manera positiva al cumplimiento de los objetivos de una unidad, pues analiza los procesos desde el punto de vista del cumplimiento de sus objetivos estratégicos. Por lo tanto, por sus características, es aplicable a cualquier proceso o subprocesos del área de Mantenimiento.

5. Bibliografía

- RCM3: Risk-Based Reliability Centered Maintenance. Marius Basson.
- TPM in Process Industries. Tokutaro Suzuki.
- Ingeniería de la Confiabilidad. Adolfo Arata.
- Green Lean Six Sigma for improving manufacturing sustainability: Framework development and validation. Rajeev Rathi.
- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Predictiva 21.
- Suarez-Barraza, M. & Miguel-Davila, J., 2008. Encontrando al Kaizen: Un análisis teórico de la Mejora Continua. *Pecunia*, Issue 7, pp. 285-311.
- Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada en la Gestión de Activos. Segunda Edición, 2015. Edita: INGEMAN, España. Capítulos 1 y 2.

ANEXOS

ANEXO 1: Flujo de Implementación Gestión de Mantenimiento Predictivo

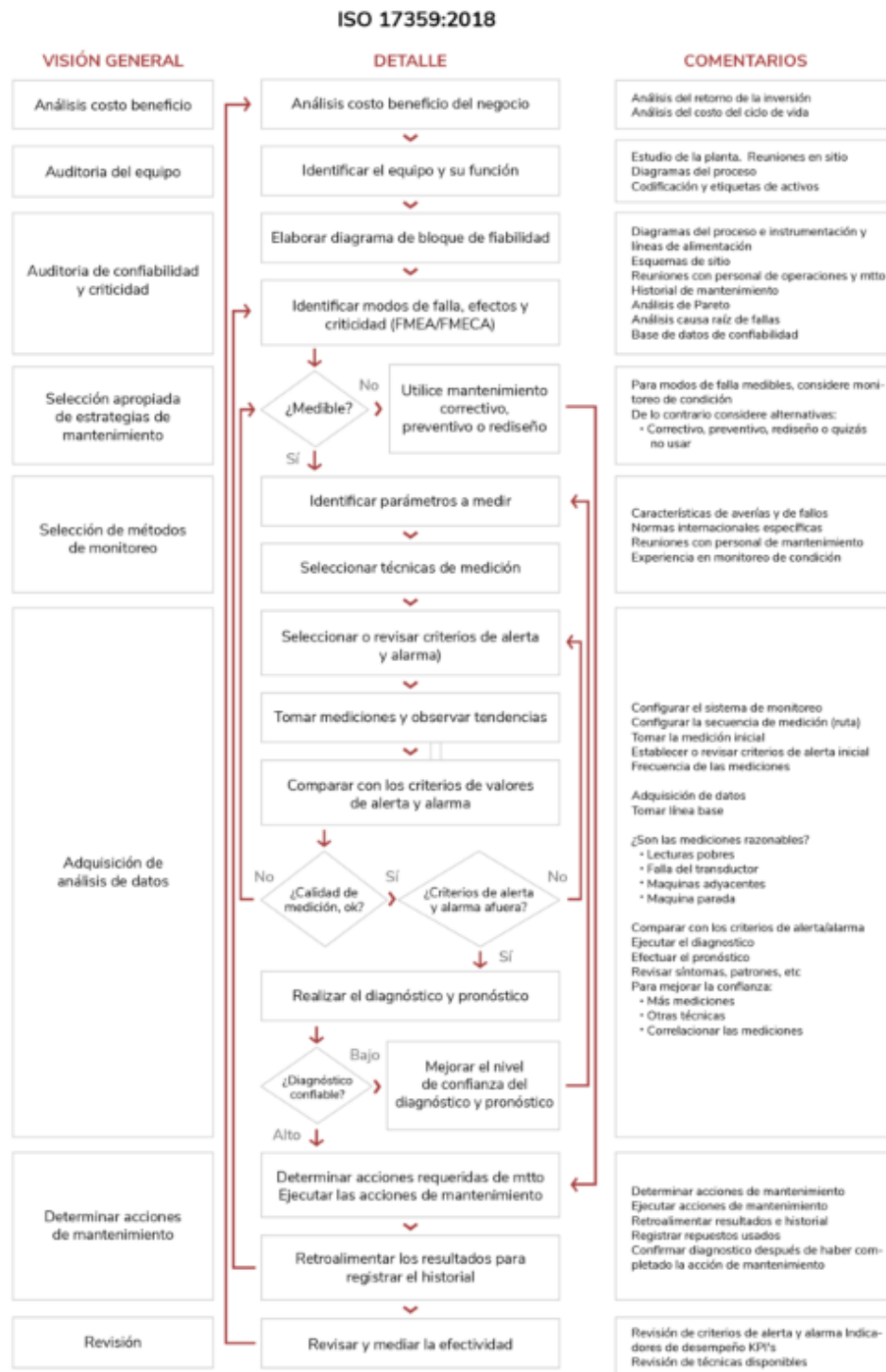


Figura 13: Diagrama de Flujo de Mantenimiento Predictivo según Norma ISO 17359:2018