

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**

**SEDE VIÑA DEL MAR – JOSE MIGUEL CARRERA**

**PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL MODELO DE GESTIÓN DE  
MANTENIMIENTO PARA PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS:**

**MGM-PYME V1**

Trabajo de titulación para optar al Título de  
Ingeniero en Mantenimiento industrial

Alumno:

Sr Sebastián Enrique Aballay Vicencio

Profesor guía:

PhD.Mg.Ing. Carlos Alberto Parra

**2025**



## CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

### 1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

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

**Título del trabajo:**

PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS:

MGM-PYME V1

**Nombre del candidato(a):** Sebastian Enrique Aballay Vicencio

**Carrera / Grado:** Ingeniería en Mantenimiento Industrial con licenciatura en ingeniería vespertino

**Campus:** Viña del Mar ; **Departamento:** Mecanica

### 2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Carlos Alberto Parra Marquez , en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

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

### 3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

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

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

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

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

Se maneja información presupuestaria privada y datos privados de uso de activos de empresa

### 4.- FIRMAS

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

Fecha: 08/07/2025

; Firma:

**Estudiante o Candidato(a):**

Fecha: 08/07/2025

; Firma:

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

## Resumen

**Keywords:** Gestión de mantenimiento, Pymes, confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, análisis de criticidad, ISO 14224.

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar un Modelo de Gestión de Mantenimiento adaptado a pequeñas y medianas empresas, optimizando la administración de activos y mejorando la planificación de mantenimiento.

En primer lugar, se establece el contexto de las Pymes y sus limitaciones operativas, destacando la necesidad de estrategias estructuradas para garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos. A partir de la revisión de modelos tradicionales, se desarrolla una metodología simplificada que integra la ISO 14224, análisis de criticidad y evaluación de costos.

El modelo propuesto se fundamenta en la jerarquización de activos, planificación del mantenimiento y análisis de indicadores clave como confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad. Su aplicación en un caso de estudio permite validar la efectividad del enfoque, evidenciando mejoras en la gestión operativa y la optimización de costos.

Finalmente, los resultados obtenidos confirman que la implementación del modelo de gestión de mantenimiento para pequeñas y medianas empresas proporciona una herramienta eficiente para la gestión del mantenimiento en empresas con recursos limitados, permitiendo la toma de decisiones basada en datos y el fortalecimiento de la estrategia operativa.

## ÍNDICE

ÍNDICE TABLAS .....	5
ÍNDICE FIGURAS .....	6
INTRODUCCIÓN.....	7
OBJETIVOS GENERAL .....	8
OBJETIVO ESPECÍFICO.....	8
CAPÍTULO 1: DISEÑO DE MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PYME-V1	
1.1 ANTECEDENTES .....	10
1.2 PROBLEMÁTICA.....	12
1.3 MODELOS DE GESTIÓN .....	14
1.4 MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO .....	15
1.4.1 Fases del Modelo de Gestión de Mantenimiento.....	16
1.5 Propuesta de MGM adaptado para pyme (MGM Pyme-v1) .....	18
1.6 Descripción detallada de 7 fases MGM Pyme-V1 .....	20
1.6.1 Fase 1 Análisis organizacional del mantenimiento.....	20
1.6.2 Fase 2 Jerarquización de activos .....	21
1.6.3 Fase 3 Análisis de criticidad .....	26
1.6.4 Fase 4 Proceso Básico de análisis de falla.....	28
1.6.5 Fase 5 Planificación, Programación, Ejecución y Medición del mantenimiento 32	
1.6.6 Fase 6 Análisis ciclo de vida.....	42
1.6.7 Fase 7 Mejora Continua.....	44
CAPÍTULO 2: APLICACIÓN PARCIAL DEL MGM PYME-V1 HRA ING.CIVIL	
2.1 ANTECEDENTES GENERALES.....	50
2.2 FASE 1 ANALISIS ORGANIZACIONAL DEL MANTENIMIENTO ..	51
2.2.1 Organigrama .....	52
2.2.2 Sistema de trabajo.....	54

2.2.3	Tipo de Mantenimiento.....	54
2.2.4	Identificación de herramientas y tecnologías .....	54
2.2.5	Documentación de procesos críticos .....	55
2.3	FASE 2 JERARQUIZACIÓN DE ACTIVOS.....	55
2.3.1	Cortadora de hormigón SOFF-CUTX150 .....	56
2.3.2	GENERADOR BAUKER 2200 W 15L.....	57
2.3.3	PLACA COMPACTADORA BENCINERA HUSQVARNA LFV80 ..	59
2.3.4	Actualización datos de flota .....	62
2.4	FASE 3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD .....	67
2.4.1	Cortadora de hormigón SOFF-CUTX150 .....	67
2.4.2	Generador Bauker 2200 w 15l.....	68
2.4.3	Placa compactadora bencinera Husqvarna LFV80.....	68
2.4.4	Tabla de resultados parciales .....	69
2.4.5	Análisis de causa raíz .....	70
	CAPÍTULO 3: DESARROLLO DE INDICADORES .....	72
3.1	Caso de estudio.....	73
3.1.1	Datos.....	73
3.1.2	Cuadro comparativo de indicadores .....	75
3.2	PRESUPUESTOS EN HRA INGENIEROS .....	76
3.2.1	Análisis de tabla .....	76
3.3	Aspectos claves para la implementación del modelo .....	77
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	79
	Bibliografía.....	80

## ÍNDICE TABLAS

Tabla 1-1 Categoría Empresas Chile .....	10
Tabla 1-2 Recolección de datos para Pyme .....	24
Tabla 1-3 Recolección de datos área mantenimiento Pyme .....	25
Tabla 1-4 Matriz de Criticidad.....	27
Tabla 1-5 Plantilla 5 ¿por qué? .....	31
Tabla 1-6 Orden de trabajo correctiva .....	35
Tabla 1-7 Orden de trabajo preventiva .....	36
Tabla 1-8 Tabla tarea semanal .....	46
Tabla 1-9 Tabla tarea mensual .....	47
Tabla 1-10 Tabla tarea trimestral .....	48
Tabla 2-1 Cortadora de hormigón.....	56
Tabla 2-2 Generador eléctrico Bauker .....	58
Tabla 2-3 Placa compactadora .....	60
Tabla 2-4 Matriz de criticidad Cortadora .....	67
Tabla 2-5 Matriz de criticidad generador .....	68
Tabla 2-6 Matriz de criticidad Compactadora .....	69
Tabla 2-7 Resultado de análisis .....	69
Tabla 2-8 Plantilla 5 ¿Por qué? Cortadora.....	71
Tabla 3-1 Plantilla CIF noviembre-diciembre .....	74
Tabla 3-2 Plantilla CIF enero-febrero.....	74
Tabla 3-3 Cuadro comparativo de resultados CIF .....	75

## ÍNDICE FIGURAS

Ilustración 1-1 Categorías Pyme .....	11
Ilustración 1-2 Brecha entre empresas .....	13
Ilustración 1-3 Modelo de gestión de mantenimiento .....	15
Ilustración 1-4 Modelo de gestión de mantenimiento Pyme .....	19
Ilustración 2-1 Lote 2-A1 CH, Ruta 60, Quillota, Valparaíso .....	50
Ilustración 2-2 Fachada Casa matriz .....	51
Ilustración 2-3 Organigrama HRA Ingeniería .....	53
Ilustración 2-4 Control de flota vehicular HRA .....	54
Ilustración 2-5 Cortadora de hormigón .....	57
Ilustración 2-6 Generador Electrico .....	59
Ilustración 2-7 Placa compactadora.....	61
Ilustración 2-8 Datos de flota actualizados.....	63
Ilustración 2-9 Registro de fallas Google Forms.....	66

## **INTRODUCCIÓN**

El mantenimiento industrial es un pilar fundamental en la eficiencia operativa y la sostenibilidad de los procesos productivos, especialmente en pequeñas y medianas empresas (Pymes), donde la optimización de recursos es clave para la competitividad. Sin una gestión adecuada, los activos críticos pueden presentar fallas recurrentes, generando costos elevados, tiempos de inactividad no planificados y un impacto negativo en la productividad.

En este contexto, la necesidad de un Modelo de Gestión de Mantenimiento adaptado a la realidad de las Pymes se vuelve esencial para estructurar estrategias de mantenimiento eficientes y sostenibles. La carencia de metodologías formalizadas en estas empresas ha llevado a una dependencia excesiva del mantenimiento correctivo, incrementando los costos operativos y reduciendo la confiabilidad de los equipos.

El presente trabajo propone el desarrollo de un modelo basado en ISO 14224, análisis de criticidad y evaluación de costos del ciclo de vida, que permita a las Pymes mejorar su planificación de mantenimiento y tomar decisiones fundamentadas en indicadores clave como confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad. A través de una aplicación práctica en un caso de estudio, se validará la efectividad del modelo en la reducción de costos y la mejora de la gestión de activos, proporcionando una herramienta adaptable a diferentes sectores industriales.

Según datos de la CEPAL (2023), las PYMES representan el 99% de las empresas en América Latina y generan más del 60% del empleo formal. En Chile, su participación en el PIB alcanza aproximadamente un 13%, lo que evidencia la urgencia de fortalecer su capacidad operativa mediante herramientas de gestión modernas y eficientes.

## **OBJETIVOS GENERAL**

Proponer diseño de un Modelo de Gestión de Mantenimiento para pequeñas y medianas empresas, que permita optimizar la administración de activos, mejorar la planificación de mantenimiento y reducir costos operativos, mediante la aplicación de metodologías de jerarquización de activos, análisis de criticidad e indicadores clave de gestión.

## **OBJETIVO ESPECÍFICO**

- Diseñar un modelo de gestión de mantenimiento adaptado a pequeñas y medianas empresas, considerando sus restricciones operativas y necesidades específicas.
- Seleccionar un área de estudio en una empresa industrial para aplicar parcialmente el modelo y evaluar su funcionalidad en un entorno real.
- Formular indicadores técnico-económicos clave para comparar el desempeño del mantenimiento antes y después de la implementación del modelo.

**CAPÍTULO 1: DISEÑO DE MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO**  
**PYME-V1**

## 1.1 ANTECEDENTES

Según la definición que se encuentra descrita en la CORFO, las pequeñas y medianas empresas o también llamadas PYMES generan ingresos anuales por ventas y/o servicios entre 2.400 UF y 25.000 UF, y un rango de trabajadores que va desde los 10 a 200 empleados. En el marco internacional, el término de PYME se asocia más bien al número de ventas realizadas y la cantidad de trabajadores no es un punto relevante en su definición, por lo que la clasificación o denominación de PYME internacional define a empresas de mayor tamaño en comparación a las definidas en Chile. En la Tabla 1-1 se muestran las categorías de empresa.

Categoría	Rango de trabajadores	Ventas anuales aproximadas	Descripción	Presencia en Chile
Microempresa	1 ~ 9	Menor a 2.400 UF	Empresas de muy pequeña escala, frecuentemente familiares con producción limitada	93%
Pequeña empresa	10 ~ 49	Entre 2.400 UF y 25.000 UF	Negocios locales con mayor capacidad operativa y comercial, aunque con recursos limitados	5%
Mediana empresa	50 ~ 199	25.000UF y 100.000 UF	Empresas estructuradas que operan a nivel regional o nacional, con una producción significativa	1%
Gran empresa	>200	> 100.000 UF	Grandes empresas con operaciones internacionales y una infraestructura compleja	Menor del 1%

Tabla 1-1 Categoría Empresas Chile

Fuente: Biblioteca nacional de Chile

Las Pymes del rubro industrial que se ubican en el país, son empresas que se originan entorno a una inversión familiar, estas prestan servicios dedicados a la fabricación de productos, ya sean intermedios o de consumo final. Las áreas que más destacan en las categorías de estas empresas son; construcción, textil, madera y muebles, químicas, imprentas y metalmeccánico. Estos sectores se ven compitiendo día a día con los productos importados ya que se encuentran en mercados transables.

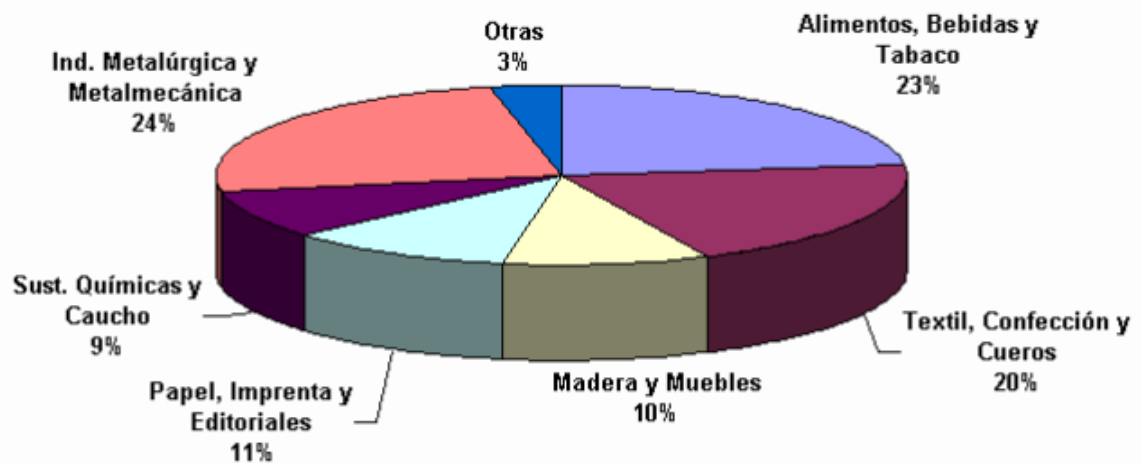


Ilustración 1 Categorías Pyme

Fuente: ASIMET

Dentro de los últimos años, las denominadas Pymes han disminuido la participación que tienen dentro de sus competidores, como se muestra en la tabla 1-2, debido a la alta demanda por productos extranjeros. Sin embargo, algunas han podido alcanzar ciertos niveles de competitividad, logrando así igualar la competencia internacional y lograr exportar sus productos a otros tipos de mercados.

En el contexto local, debido a la llegada de productos importados, a obligado a las empresas a estar en busca de una mejora continua en la profesionalización de sus gestiones,

modernizar las tecnologías para incrementar la productividad y redefinir estrategias de marketing y negocios. Todo esto con el fin de posicionarse en lo alto de la lucha contra el mercado internacional.

Si bien se han logrado adaptar de alguna manera, un porcentaje considerable se encuentra aún en el proceso de reajuste, y esto ha conllevado dificultades para lograrlo. Principales razones para esta difícil tarea son la capacidad interna que poseen, estructura del mercado financiero y tecnológico, las cuales no se adaptan a las necesidades actuales de las empresas.

## **1.2 PROBLEMÁTICA**

Debido al contexto actual que viven las PYMES, el conflicto principal que existe es la competencia con las grandes empresas, las cuales cuentan con mejores tratos con proveedores y mejores opciones de créditos para futuros proyectos. También el hecho de que cuentan con mejores sistemas de organización y mejor capacitación profesional dentro del personal operativo.

Contemplando el rubro industrial, las grandes empresas generan un 90% total de las ventas y/o servicios, dejando a las PYMES con un déficit bastante grande en comparación. Teniendo en cuenta que en Chile más del 96% de empresas son de pequeño y mediano tamaño, y solo el 1% es considerado como grandes empresas.

Considerando el marco de exportaciones dentro del total de empresas que están en Chile solo 1.6 % (3.788) son PYMES exportadoras. En términos de valores de exportación, representan el 2% del total, esto quiere decir que el 98% corresponde para las grandes empresas. Si comparamos los resultados con estados unidos es varias veces inferior ya que en el país del continente norteamericano las PYMES cuentan con un 33% de participación de exportación total. (Subsecretaría de relaciones económicas internacionales, 2022)

A continuación, se puede observar la gran brecha que existe entre las empresas de menor tamaño y las de gran tamaño.

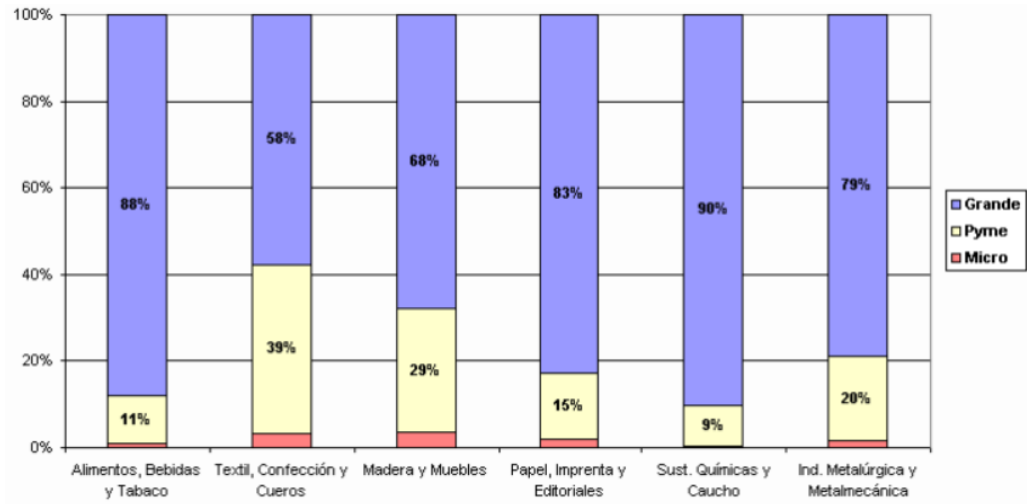


Ilustración 2 Brecha entre empresas

Fuente: ASIMET

Si bien existen grandes diferencias en torno al poder adquisitivo que tienen las grandes empresas, como se muestra en la tabla 1-3, las aptitudes o modelos de negocios que poseen las pymes también están por debajo del promedio que manejan estas industrias de mayor tamaño. El estado chileno incentiva la participación de las Pymes con aportes económicos, los cuales están diseñados para amortiguar la gran brecha que existe con las grandes empresas. Pero aun con estos aportes la mayoría de Pymes carece de capacitación profesional, de optimización de procesos y de modelos de gestión para prevenir fallas o gastos inesperados.

### **1.3 MODELOS DE GESTIÓN**

El uso de herramientas que permitan la gestión de recursos o de personal, son de gran aporte para las empresas que intentan competir en el mercado actual, junto con las nuevas tecnologías de vanguardia que permiten un análisis mucho más detallado, y una visión más concreta de los resultados futuros.

Los modelos de gestión permiten al usuario administrar sus equipos de trabajadores o activos físicos que tenga la empresa, de tal manera que se logre desarrollar estrategias que sean esenciales para alcanzar los objetivos de la empresa.

Existen distintos tipos de gestión que pueden ser aplicables dentro de las industrias, se encuentran gestiones industriales, gestiones para el área de finanzas, gestiones para el área de mantenimiento, gestiones de marketing, etc. Todas estas áreas y modelos deben ser considerados para desarrollar una buena organización dentro de cualquier empresa o PYME.

Dentro de las denominadas PYMES o empresas emergentes dedicadas al rubro industrial, la falta de un modelo de gestión para las distintas áreas que componen el negocio, suele ser un factor común. Es por ello por lo que existen empresas prestadoras de servicio que asesoran a los gerentes, para que logren administrar de mejor manera su empresa.

En la actualidad los modelos de gestión son cada vez más aplicables y de fácil acceso para las personas, suelen ser enseñados en cursos, universidades, y/o capacitaciones. Dentro del área industrial se define al mantenimiento como un recurso que permite ahorrar costos en las reparaciones de la maquinaria que las PYMES posean. Si bien hay áreas en las que las PYMES seguirán siendo menores en comparación a las grandes empresas como, por ejemplo; el acceso a créditos, disminución de costos con proveedores, obtención de materias primas a menor costo, y mejoras en la capacitación constante del personal, el área de mantenimiento puede ser equiparada si se logra un modelo que permita una organización sencilla de los activos.

## 1.4 MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

Durante la última década se ha creado un modelo de gestión de mantenimiento (MGM) que permite a las empresas gestionar de mejor manera sus recursos. Según el estudio realizado por parte de los creadores del modelo de gestión de mantenimiento (Carlos Parra y Adolfo Crespo), el diseño del modelo permite entender las bases técnicas para gestionar de forma eficaz y eficiente, la capacidad operacional de los activos de cualquier sistema productivo. (Parra & Crespo, 2012).

A continuación, se puede observar la ilustración (1-4) que explica las 8 fases del modelo de gestión



Ilustración 3 Modelo de gestión de mantenimiento

Fuente: (Parra y Crespo, 2012)

### **1.4.1 Fases del Modelo de Gestión de Mantenimiento**

El modelo de gestión del mantenimiento (MGM) está compuesto por ocho fases (Tabla 1-4), que nos muestran los pasos a seguir en los diferentes pasos del proceso de gestión de mantenimiento. Es un modelo dinámico, secuencial y en bucle cerrado, teniendo en el eje principal el concepto de mejora continua, este modelo graficado intenta caracterizar de forma precisa el curso de acciones a llevar a cabo en este proceso de gestión para asegurar la eficiencia y eficacia de este.

En la primera fase se observan técnicas que ayudan a definir la estrategia de mantenimiento que está siendo utilizada. Lo que se desea lograr en esta primera fase es que los objetivos operacionales de mantenimiento y la estrategia, sean consecuentes con las metas finales del negocio. Esto permitirá a los miembros de la empresa conectar con la visión general que desea entregar la organización. Mediante indicadores rigurosamente seleccionados, se podrá observar a más detalladamente el progreso de las gestiones aplicadas.

En la segunda fase se busca definir técnicas para la jerarquización de activos de producción. Una vez que se establezcan los objetivos y estrategias, se deben clasificar los activos productivos en base a la importancia de su función con relación al proceso que se lleve a cabo. Para esto existen múltiples técnicas cualitativas y cuantitativas, para basar nuestras decisiones al momento de clasificar los activos. Cuando se posee una basta información respecto a los datos históricos de cada activo se utilizan técnicas de carácter cuantitativo, ahora bien, si no se poseen datos previos, una técnica cualitativa garantiza un nivel adecuado inicial en la efectividad de operaciones de mantenimiento.

En la tercera fase es importante contar con herramientas para eliminar los puntos débiles en equipos/sistemas de alto impacto. Antes de desarrollar alguna técnica de prevención para el plan de mantenimiento, es conveniente analizar posibles fallos que puedan catalogarse como repetitivo o de frecuencias altamente excesivas, si se logra encontrar y eliminar estas causas de fallos podrán ofrecer un alto retorno inicial a la inversión del programa de gestión de mantenimiento. Gracias a esto se pueden ajustar los planes de mantenimiento para que sean mucho más efectivos al momento de ejecutarlos, disminuyendo

así los gastos para la empresa. Si bien existen una variedad de análisis que cumplen este rol, el análisis de causa raíz de fallos (RCA) es el más utilizado actualmente, ya que toma una serie de acciones para encontrar cual es la razón por la que ocurre el modo de fallo y entrega además maneras de cómo se pueden corregir.

La cuarta fase es el soporte para una adecuada definición de plan de mantenimiento preventivo, esta requiere identificaciones de funciones y formas en la cual deja de cumplir cierta función. Además, se establece una serie de tareas de mantenimiento, basadas en la seguridad y economía del sistema. Una técnica que cumple con estos requisitos es el Mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM)

La quinta fase se aplican técnicas de optimización para la mejora del programa de mantenimiento, esto para asegurar mayor eficiencia en el plan de mantenimiento del diseño inicial. Según sea el modelo que se desee escoger, dependerá tanto de las necesidades de la empresa como del tiempo que se tenga para ejecutar el plan. Considerando un intervalo de tiempo acotado, lo más recomendable es una mejora en la asignación de recursos y tener un control más elevado de los eventos que ocurran, por otra parte una ventana de tiempo de medio plazo se centra en la optimización de secuencia de actividades a realizar en una parada importante de planta, y finalmente cuando se tiene un largo horizonte de tiempo se busca analizar la capacidad del mantenimiento, diseños de gestión de repuestos o redefinir los tiempos de manera eficiente para realizar tareas de mantenimiento.

La sexta fase está relacionada al control y supervisión de las operaciones de mantenimiento, continuando el sentido lógico de las anteriores fases, una vez que ya están planificadas y programadas las actividades de mantenimiento es importante medir los datos más relevantes para este tipo de tareas. Los KPIs de mantenimiento deben estar siendo evaluados y estudiados de cerca para ofrecer un control total de las operaciones de mantenimiento.

La séptima fase son los instrumentos para el análisis de costos de ciclo de vida del activo (ACCV). Este tipo de análisis lo que hace es calcular el costo de un activo durante su periodo o vida útil, considera costos desde la planificación e investigación hasta la retirada

del equipo. Todos estos valores se derivan desde la fiabilidad del equipo. Finalmente, este análisis permite tomar decisiones en las que se deba elegir entre mantener o cambiar un equipo según el estado en que este se encuentre y desarrollar predicciones más precisas.

La octava fase aborda las técnicas para la mejora continua del mantenimiento. Esta última fase del cuadro de gestión de mantenimiento busca utilizar las tecnologías y técnicas más recientes para asegurar un feedback que promueva el desarrollo de las tareas y posibles mejoras para alcanzar los niveles más altos en eficiencia y calidad del proceso.

### **1.5 Propuesta de MGM adaptado para pyme (MGM Pyme-v1)**

En el contexto actual, donde las nuevas tecnologías juegan un papel crucial, la adaptabilidad se ha convertido en un factor esencial para el desarrollo de las pymes. La adopción de técnicas innovadoras y herramientas de gestión es vital para el crecimiento sostenible del negocio. No obstante, los modelos de gestión de mantenimiento diseñados para grandes empresas no siempre son aplicables de manera efectiva a las pymes, debido a limitaciones en su estructura organizativa, la falta de capacitación adecuada y la escasez de recursos.

El desarrollo de un modelo de gestión de mantenimiento específico para pymes permite una mejor organización de los recursos disponibles, estableciendo un sistema estructurado que favorece la implementación de mejoras continuas, sostenibles a corto y largo plazo.

Aplicar las 8 fases del modelo de gestión de mantenimiento (MGM) tal como están actualmente no es lo más adecuado para las pymes, ya que muchas de las técnicas y herramientas involucradas requieren recursos significativos para implementarse de manera eficiente. Sin embargo, esto no significa que debamos renunciar a su efectividad. De hecho, es posible integrar las fases de manera estratégica, reduciendo su alcance y ajustando su complejidad, lo que permitirá adaptar el modelo a las necesidades específicas de las pymes. Esta reducción no solo facilita la implementación, sino que también asegura que los

beneficios de un sistema de mantenimiento optimizado sean accesibles y sostenibles para empresas con recursos limitados.

Esta reducción puede adaptarse a un total de 7 fases, el procedimiento por el cual se realiza la reducción viene siendo por la integración de partes que permiten una ejecución más sencilla y reducida en costos para la pyme. Como muestra la siguiente ilustración (1-4)

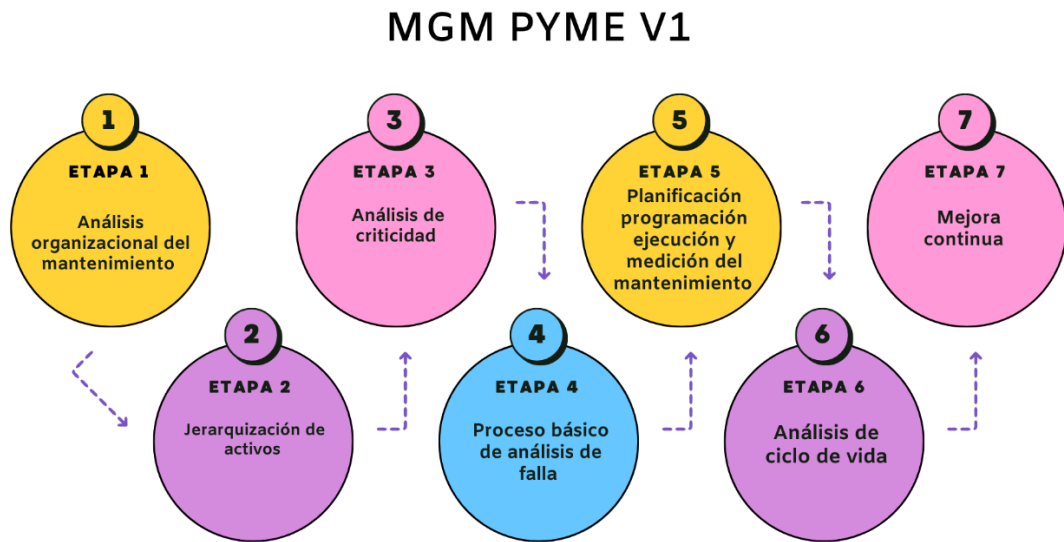


Ilustración 4 Modelo de gestión de mantenimiento Pyme-V1

Fuente: Elaboración propia

## **1.6 Descripción detallada de 7 fases MGM Pyme-V1**

### **1.6.1 Fase 1 Análisis organizacional del mantenimiento**

Uno de los primeros pasos para implementar un nuevo modelo de gestión, es comprender el contexto organizacional y operacional de la empresa. Esto permite identificar las capacidades y limitaciones de la pyme. También nos permite alinear las actividades de mantenimiento con las metas u objetivos definidos por el negocio.

A continuación, se presenta una metodología que incluye una serie de pasos y herramientas prácticas para abordar este análisis de una manera más efectiva.

#### **1.6.1.1 Organigrama**

Describir el organigrama permite una jerarquización de puestos de trabajo, definir cuáles son las líneas de comunicación y relación entre departamentos, el foco principal de departamentos son los relacionados al área de mantenimiento y producción. Esto se considera un aspecto básico dentro de la organización, ya que también aclara cada función y responsabilidad que posee los trabajadores involucrados en el proceso productivo, permitiendo así el alineamiento con los objetivos de la pyme.

#### **1.6.1.2 Sistema de trabajo**

El análisis al sistema de trabajo repercute en la estructuración de operaciones diarias, turnos, asignaciones de tareas y las formas en las cual se manejan las falencias del sistema.

### 1.6.1.3 Tipo de mantenimiento

Los flujos de trabajo permiten la correcta ejecución de tareas, permite además entender que tipo de plan se implementa (correctivo, preventivo, predictivo). Esto facilita la visión general de impacto que se tiene en la operación general de la Pyme.

### 1.6.1.4 Identificación de herramientas y tecnologías

La identificación de tecnologías dentro del negocio es necesario para evaluar si son suficientes para soportar el proceso productivo y las tareas de mantenimiento actuales. El análisis parte definiendo si son herramientas físicas, tecnologías digitales como, por ejemplo: software de gestión empresarial o mantenimiento.

### 1.6.1.5 Documentación de procesos críticos

Es importante establecer que tipos de documentos o registros se utilizan previo y posterior a la realización de una tarea, esto proporciona una visión más estructurada de los datos y actividades claves del trabajo, permite esto además un análisis más completo e identificar los cuellos de botellas presentes en el trabajo productivo.

## 1.6.2 Fase 2 Jerarquización de activos

En esta segunda fase, el desarrollo de una implementación de jerarquización de activos dentro de las empresas de menor y mediano tamaño, las cuales cuentan con recursos limitados y prioridades operativas que pueden ir cambiando constantemente, se convierte en una herramienta estratégica y benéfica. Permite identificar, priorizar y organizar los activos considerados importantes para asegurar la continuidad operativa y optimizar el uso de los recursos limitados en el mantenimiento.

Este tipo de enfoque garantiza que la toma de decisiones relacionadas al área de mantenimiento, no sean de manera reactiva, sino categorizando cuales son los activos que generan mayor o menor impacto en la empresa, estableciendo a su vez un orden lógico de asignación de recursos dentro de un marco de presupuestos ajustados.

La utilización de este tipo de técnicas y herramientas dentro de empresas de mayor tamaño son parte integral del sistema de gestión de mantenimiento, ya que permite manejar la gran complejidad de sus operaciones. Si bien dentro de este tipo de empresas cuentan con mejores recursos y capacidades tecnológicas, el principio de esta metodología es de carácter universal y la base es la necesidad de priorizar y tomar decisiones basadas en datos. Es por esto que se considera una práctica adaptativa y que puede beneficiar a empresas de cualquier tamaño.

Lo anteriormente mencionado se ve reflejado en la norma ISO 14224, ya que esta ofrece un marco de gestión de la información de activos y estructura de datos de mantenimiento de nivel internacional. Sin embargo, esta norma está diseñada para empresas con operaciones altamente sistematizadas y recursos de gran envergadura. Es por esto por lo que en vez de implementar la norma 14224 en empresas de menor y medio tamaño, se puede utilizar de guía para el desarrollo de procesos adaptados a las necesidades de cada empresa. Este tipo de enfoque permite que las Pymes se beneficien de los estándares utilizados internacionalmente sin comprometer su flexibilidad ni generar costos adicionales innecesarios. International Organization for Standardization. (2016). *ISO 14224:2016: Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. ISO.

Los primeros pasos para lograr desarrollar esta técnica son:

- 1) Establecer jerarquización de activos

El objetivo es organizar los activos por niveles, desde el más general (sistema o planta) hasta el más específico (componente). Esto permite identificar los equipos más críticos y destinar de mejor manera los recursos.

Según la norma 14224 los niveles son

- Planta/sistema
- Unidad funcional
- Equipo/componente

2) Clasificar activos por criticidad

En este punto es importante asignar la prioridad para cada activo según sea el impacto en la operación. La norma sugiere tener en cuenta los impactos en la producción, impactos en la seguridad y costos de falla.

3) Definir tipos de datos a recolectar

Los tipos de datos que deben ser recolectados según la norma ISO 14224:

- Datos estáticos
- Datos operacionales
- Datos de fallos

4) Implementar codificación estandarizada de activos

En este punto la norma recomienda la utilización de un sistema de codificación para los activos. Esto permite identificarlos fácilmente en los registros y en los análisis que se realicen posteriormente.

A continuación, se presenta un formato para la recolección de datos según la norma ISO 14224, reflejando los puntos más asequibles para una pyme, mencionando además la descripción general de la categoría y ejemplos para un claro desarrollo de puntos.

<b>CAMPO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>EJEMPLO</b>
<b>Código del activo</b>	Definir código combinando ubicación de activo, función y número/letra secuencial	PL1-CT-01 / PL1-CT-0A
<b>Función del activo</b>	Breve definición de la tarea que cumple el activo. Agregar marca de fabricante y modelo de equipo.	Cinta transportadora de frutos.
<b>Ubicación</b>	Área específica en donde se encuentra el activo.	Planta de empaquetado, Línea 1.
<b>Nivel jerárquico</b>	Asignar nivel dentro de la jerarquía de la empresa. Facilita su clasificación y análisis posterior	Planta → Sistema → Unidad Funcional → Equipo/Componente
<b>Importancia operativa</b>	Medida directa de valor y contribución económica de la operación	Valor entre 1 a 5, donde 1 presenta bajo impacto, 3 presenta tiempo de inactividad con consecuencias y 5 largos tiempos de inactividad y alto impacto en producción.
<b>Impacto en el negocio</b>	Medida de riesgo potencial para el negocio en términos de seguridad, salud, medio ambiente y cumplimiento normativo	Valor entre 1 a 5, donde 1 presenta ningún impacto de seguridad ni afectación al ambiente, 3 presenta riesgo para la seguridad y un daño considerable al ambiente y 5 riesgo en seguridad total y ambiente.

Tabla 1-2 Recolección de datos para Pyme

Fuente: ISO 14224

Además, se establece una recomendación para la estandarización de datos para mantenimiento, de tal manera de mantener una información homogénea. A continuación, se muestra una tabla con los datos estandarizados para el área de mantenimiento

CAMPO	DESCRIPCIÓN
<b>DATOS DEL ACTIVO</b>	
Fabricante	Nombre del fabricante
Modelo	Modelo comercial del activo
Año de adquisición	Año de ingreso a la empresa
Costo de adquisición	Costo asociado al valor del ingreso del activo
<b>DATOS OPERACIONALES</b>	
Horas de operación acumuladas	Tiempo operativo total (TO)
Frecuencia de uso (Diario/Semanal)	Estimación de tiempo operativo de la maquina
Condiciones de Operación	Contexto operacional del activo (temperatura, altura, ambiente)
Criticidad del activo	Definir si la criticidad considerada es Alta, media o baja según corresponda
<b>HISTORIAL DE MANTENIMIENTO</b>	
Fecha de ultimo mantenimiento	Fecha en que se realiza la última reparación
Tipo de mantenimiento realizado	Definir mantenimiento realizado (correctivo, preventivo, predictivo)
Frecuencia de fallos	Determinar la frecuencia de fallos (FF)
Tiempo medio de reparación	Determinar el MTTR
<b>DATOS DE FALLAS</b>	
Descripción de falla regular	Descripción general de la falla
Causas identificadas	Causa que genera la falla, definir la raíz del problema
Acciones correctivas aplicadas	Medidas aplicadas para solucionar la falla

Tabla 1-3 Recolección de datos área mantenimiento Pyme

Fuente: Elaboración propia

### **1.6.3 Fase 3 Análisis de criticidad**

En esta tercera etapa, se aborda una matriz de criticidad que es una herramienta clave para la gestión de activos, diseñada para clasificar los equipos/sistemas según su importancia operativa y el riesgo que tenga asociado a los fallos. Los dos ejes principales de esta matriz son el impacto por fallo y probabilidad de fallo.

Este tipo de herramienta otorga resultados inmediatos al permitir una mejora en la asignación de recursos, una planificación del mantenimiento basada en las nuevas prioridades y continuidad operativa. En un periodo de corto plazo se estima la reducción de fallas críticas, mayor disponibilidad de equipos, ahorro en costos/tiempo y un conocimiento mayor en los activos críticos del negocio.

Una vez definidos los objetivos que tenga la empresa se procede a determinar los criterios que se utilizaran para evaluar cada activo. Estos serían la Frecuencia de fallos (FF) y Consecuencias (C).

Frecuencia de fallos (FF): La probabilidad o periodicidad con que se presenta la falla de un activo. Se define un rango presentado en escala de 1 (fallas muy poco frecuentes) a 5 (fallas muy frecuentes)

Consecuencia (C): El impacto que tendría la falla, considerando factores como la seguridad, los costos, la continuidad operativa y el efecto sobre la calidad del servicio o producto. También presenta una escala de 1 (mínimo) a 5 (catastrófico)

Lo siguiente es definir las escalas para cada criterio considerado entre fallas presentes

- Frecuencia

1= Falla rara (1 ocurrencia mensual)

2= Ocasional (1-2 ocurrencias mensuales)

3= Moderada (3-4 ocurrencia mensual)

4=Frecuente (4-7 ocurrencia mensual)

5= Muy frecuente (superior a 8 ocurrencia mensual)

- Consecuencia

1= Impacto mínimo (permite desarrollo normal de trabajo)

2=Impacto bajo (interrumpe brevemente el trabajo diario)

3=Impacto moderado (interrumpe ejecución del trabajo)

4=Impacto alto (interrumpe media jornada laboral)

5=Impacto catastrófico (interrumpe jornada laboral completa)

Con estos datos definidos se puede diseñar una matriz de criticidad simple sin la necesidad de altos recursos o especialistas, en los siguientes puntos se definen los pasos para generar el diseño:

- Eje vertical: Frecuencia de fallos (escala de 1 a 5)
- Eje horizontal: Consecuencia (1 a 5)
- Cada celda representara un nivel de criticidad (de baja a alta)

Definir los rangos simples según sea su interacción, por ejemplo, si ambas escalas son bajas (1-2) indica una baja criticidad; combinaciones medianas (3) indica una criticidad media; y aquellas con valores altos (4-5) se considera de alta criticidad.

Frecuencia de fallas (FF)	5	M	M	A	A	A
	4	M	M	M	A	A
	3	B	M	M	M	A
	2	B	M	M	M	M
	1	B	B	B	M	M
	1	2	3	4	5	
		Consecuencias				

Tabla 1-4 Matriz de Criticidad

Fuente: Elaboración propi

Nivel de Criticidad	
Bajo	
Medio	
Alto	

#### **1.6.4 Fase 4 Proceso Básico de análisis de falla**

El análisis de fallas constituye una actividad esencial dentro de la gestión de mantenimiento, ya que permite identificar las causas raíz de las averías, optimizando la disponibilidad operativa de los activos y reduciendo costos asociados a paradas no programadas. En el contexto del mantenimiento correctivo, donde la intervención se realiza tras la ocurrencia de una falla, la aplicación de metodologías estructuradas como los 5 Por Qué resulta clave para evitar la repetición de incidentes y mejorar la fiabilidad de los equipos.

La implementación de un enfoque sistemático en el análisis de fallas permite no solo resolver problemas inmediatos, sino también fortalecer la gestión del conocimiento dentro de la organización. Esto se traduce en una optimización de los recursos disponibles y una toma de decisiones basada en evidencia técnica.

##### **1.6.4.1 Procedimientos para una Correcta Recolección de Datos**

Para garantizar la efectividad del análisis de fallas, es fundamental seguir un procedimiento estandarizado de recolección de datos, asegurando que la información obtenida sea precisa y representativa de la situación real. A continuación, se describen los pasos recomendados:

1. Registro inmediato de la falla: Documentar de manera sistemática la información relevante, incluyendo fecha, hora, ubicación, equipo afectado y descripción detallada del evento.
2. Inspección técnica preliminar: Recopilar evidencia visual mediante fotografías y realizar mediciones técnicas cuando sea necesario. Esto permite obtener información objetiva sobre el estado del equipo antes de cualquier intervención.
3. Entrevista con el personal involucrado: Recabar información de operarios y técnicos presentes durante la falla para identificar patrones o comportamientos anómalos previos al incidente.

4. Aplicación de la metodología 5 Por Qué: Formular preguntas sucesivas para profundizar en la causa raíz del problema, evitando atribuir la falla a factores superficiales.
5. Registro de acciones correctivas y preventivas: Documentar las medidas implementadas y definir estrategias de prevención para evitar la recurrencia del problema.

La correcta recolección de datos es posible mediante una guía estructurada de pasos para completar la metodología de 5 ¿Por qué? A continuación, se muestra una planilla con dicha metodología aplicable para cualquier empresa que necesite verificar los orígenes de la falla.

<b>HRA</b> INGENIEROS		<i>MGM-Pyme</i>			
Plantilla				Código	
Fecha		Proceso/Función		Área	
Identificación de personal					
Nombre					
Cargo					
Definición del problema					
Descripción de la falla					
5 por que	¿por qué?				
	¿por qué?				
	¿por qué?				
	¿por qué?				
	¿por qué?				
Causa raíz del problema					
Acciones correctivas					
Solución					
Fecha de aplicación					
Acciones Preventivas					
Solución Preventiva					
Estado de solicitud					
Aplicada		Marca con una (X) según corresponda			
En proceso					
Rechazado					

Plantilla evidencias		
Imagen		
	Observaciones	
Imagen		
	Observaciones	
Imagen		
	Observaciones	

Tabla 1-5 Plantilla 5 ¿por qué?

Fuente: Elaboración propia

### **1.6.5 Fase 5 Planificación, Programación, Ejecución y Medición del mantenimiento**

En esta etapa se registran los activos más críticos que se han seleccionado anteriormente en las fases de análisis, y se establecen de una forma práctica un listado de tareas preventivas que ayuden a mantener el funcionamiento de los activos. Estas tareas generalmente son actividades periódicas que permitan el control diario de las operaciones.

#### **1.6.5.1 Planificación**

La planificación en mantenimiento es el proceso estratégico y sistemático que consiste en identificar, definir y programar las actividades de mantenimiento necesarias para garantizar la operatividad y confiabilidad de los activos. Este proceso incluye la determinación de objetivos, la identificación de tareas a realizar, la asignación de recursos (técnicos, materiales y financieros) y la definición de indicadores de desempeño. Su objetivo principal es minimizar tiempos de inactividad y optimizar el uso de recursos mediante una visión a mediano y largo plazo.

Una metodología para aplicar en esta área es TPM (*Total productive maintenance*), básicamente abarca un enfoque integral que involucra a toda organización, promoviendo la mejora continua y la implicación de operarios con el cuidado de los equipos. Se establecen metas y estrategias a largo plazo para incrementar la eficiencia de los activos.

#### **1.6.5.2 Programación**

Una vez que se define el plan estrategia mediante alguna metodología, es importante organizar y ajustar la programación de las tareas para maximizar el uso de recursos disponibles. En este nivel se revisa la frecuencia de las actividades preventivas, buscando evitar intervenciones excesivas o, por el contrario, dejar pasar largos periodos sin revisión. Es importante adaptar el cronograma a la operatividad de la empresa.

Las herramientas de gestión de proyectos facilitan la visualización y secuenciación temporal de las tareas. Por ejemplo, el diagrama Pert y Gantt.

### 1.6.5.3 Órdenes de Trabajo

Las órdenes de trabajo representan un instrumento fundamental en la gestión de mantenimiento, permitiendo la planificación, ejecución y seguimiento de las actividades de intervención sobre los activos. Su función principal es estructurar la información necesaria para la correcta asignación de recursos y el control de las operaciones de mantenimiento.

El procedimiento de recolección de información para la generación de una orden de trabajo incluye los siguientes pasos:

1. **Identificación de la necesidad de intervención:** Puede originarse a partir de una inspección programada, un reporte de falla o un análisis de datos de rendimiento del equipo.
2. **Registro de información técnica:** Se deben incluir datos como código del equipo, ubicación, descripción detallada del problema y nivel de criticidad.
3. **Asignación de recursos:** Definir el personal responsable, repuestos y herramientas requeridas para la ejecución de la tarea.
4. **Ejecución de la orden de trabajo:** Una vez aprobada, la actividad debe ser realizada siguiendo los procedimientos estandarizados de seguridad y operación.
5. **Cierre y retroalimentación:** Se registra el resultado de la intervención, el tiempo empleado y las acciones tomadas, lo que permite una mejora continua en la gestión del mantenimiento.

6. La implementación efectiva de estos procedimientos contribuye a una gestión de mantenimiento más eficiente, mejorando la disponibilidad y confiabilidad de los activos.

- Orden de trabajo correctiva

Se genera tras la ocurrencia de una falla o avería en un equipo, con el objetivo de restaurar su funcionalidad en el menor tiempo posible. No siempre se encuentra planificada y puede generar costos imprevistos.

A continuación, se muestra una plantilla con los datos necesarios para ejecutar una orden de trabajo correctiva.

ORDEN CORRECTIVA			Código
			Fecha
Sección		Numero O.T	
Equipo/Maquina			
Departamento solicitante		Código de Maq/Equ	
Nombre del técnico			
Descripción del servicio			
Prioridad			
Alta		Marca (X)	
Media			
Baja			
Registro de tiempo		Causa de falla	Descripción
Hora inicial		Mecánica	
		Eléctrica	
Hora final		Neumática	
		Hidráulica	
Ítem	Cantidad	Ubicación	

Tabla 1-6 Orden de trabajo correctiva

Fuente: Elaboración propia

- Orden de trabajo Preventiva

Se programa con antelación y busca evitar fallas mediante inspecciones, ajustes o reemplazos programados. Permite una mayor eficiencia en el uso de los recursos y minimiza tiempos de inactividad no planificados.

A continuación, se muestra una plantilla con los datos necesarios para ejecutar una orden de trabajo preventiva.

<b>ORDEN PREVENTIVA</b>			Código	
			Fecha	
Sección		Numero O.T		
Equipo/Maquina				
Departamento solicitante		Código de Maq/Equ		
Nombre del técnico				
Descripción del servicio				
Actividades		Hora de inicio	Hora de termino	Fecha de entrega
Materiales/Herramientas				
ítem	Cantidad		Ubicación	

Tabla 1-7 Orden de trabajo preventiva

Fuente: Elaboración propia

#### 1.6.5.4 Indicadores técnico-económicos

Los indicadores en mantenimiento son herramientas necesarias para medir el desempeño de los activos, evaluar la efectividad de las estrategias implementadas y optimizar la toma de decisiones. Entre los indicadores más relevantes, se encuentran la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad. Permiten evaluar la capacidad de los equipos para operar de manera eficiente y continua. Su integración en la gestión del mantenimiento tiene un impacto directo en la rentabilidad del negocio.

Desde una perspectiva más amplia, estos indicadores también influyen en la estrategia de mantenimiento, permitiendo determinar si es más conveniente un enfoque preventivo, predictivo o correctivo. Además, ayudan a optimizar la gestión de repuestos y recursos, asegurando que las piezas críticas estén disponibles cuando se necesiten y evitando costos innecesarios por almacenamiento o demoras en reparaciones.

Al analizar estos indicadores de manera sistemática, se pueden identificar oportunidades de mejora, por lo que su correcta aplicación permite transformar el mantenimiento en una ventaja competitiva, asegurando la confiabilidad de los equipos y maximizando su disponibilidad en el proceso productivo.

- Confiabilidad (*Reliability*)

La confiabilidad mide la capacidad de un activo para operar sin fallas bajo las condiciones requeridas durante un periodo determinado. Se expresa a través del MTBF (Tiempo medio entre fallas) este es un indicador utilizado para medir el promedio de tiempo que transcurre entre las fallas de un activo, sistema o componente. En otras palabras, el MTBF representa la duración promedio en la que un activo o sistema está en funcionamiento antes de que ocurra la falla.

Los datos que se necesitan son el TPO (tiempo promedio operativo) y la frecuencia de fallas (FF) estos permiten calcular el MTBF.

$$MTBF = \frac{TPO}{FF}$$

*Ecuación 1*

- **Mantenibilidad (*Maintainability*)**

La mantenibilidad es la capacidad del equipo pueda ser restaurado o conservado a su estado operativo después de una falla. Se expresa mediante el MTTR (tiempo medio de reparación) este indicador es utilizado para medir el tiempo promedio que se necesita para reparar un activo o sistema después de que se haya producido una falla. En otras palabras, el MTTR mide la duración promedio del proceso de reparación, desde el momento en que se detecta la falla hasta el momento en que el activo vuelve estar completamente operativo.

Los datos necesarios son el TPR (tiempo promedio de reparación) y número de intervenciones/fallas (N).

$$MTTR = \frac{TPR}{N}$$

*Ecuación 2*

- **Disponibilidad (*Availability*)**

La disponibilidad representa el porcentaje del tiempo en que un activo está en estado de uso operativo y sea capaz de desempeñar la función requerida cuando se necesite. En este punto se deben requerir los dos indicadores previos tanto MTBF y MTTR

$$Disponibilidad \% = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

*Ecuación 3*

Ante las fórmulas propuestas se puede inferir que mientras mayor sea la confiabilidad, un MTBF alto reduce la necesidad del mantenimiento, una mejor mantenibilidad quiere decir un MTTR menor ayudara a restaurar rápidamente los activos en caso de falla y finalmente como la disponibilidad se ve afectada por ambos factores, esta reflejara la capacidad real del activo para estar operativo.

- **COSTES DE INDISPONIBILIDAD POR FALLOS (CIF)**

El CIF es un indicador de carácter financiero, este evalúa el costo total generado por la indisponibilidad de un activo debido a las fallas que presente. Este indicador considera tanto los costos directos de corrección como los costos de penalización, que incluyen también las pérdidas de producción, impactos en la calidad y otros factores económicos.

Los datos necesarios para este cálculo son la frecuencia de fallos (FF), el tiempo fuera de servicio (TPFS) y los costos directos por reparación y penalización.

$$CIF = FF \times TPFS \times (costos)$$

*Ecuación 4*

#### 1.6.5.5 PRESUPUESTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO

El presupuesto es una estimación de costos necesarios para garantizar el correcto funcionamiento de planes de ejecución, instalación de proyectos, etc. Un presupuesto bien estructurado permite optimizar los recursos y reducir los costos inesperados.

El presupuesto en el plan de mantenimiento preventivo suele ser planificado y controlado, permitiendo la distribución de recursos en el tiempo, minimizando así

los gastos imprevistos. Por otra parte, el presupuesto para un plan de mantenimiento correctivo tiende ser más impredecible y costoso que el anterior, esto puede generar paradas de producción, uso de horas extra, mano de obra de emergencia, etc.

- Presupuesto mantenimiento preventivo (PMP)

Se refiere a los costos planificados para inspecciones, ajustes y reemplazos programados con el fin de minimizar fallas inesperadas. A continuación, se muestra la formula;

$$PMP = CMO + CR + CI + CO$$

*Ecuación 5*

*Donde:*

CMO: Costo de mano de obra preventiva.

CR: Costo de repuestos e insumos preventivos.

CI: Costo de inspecciones programadas.

CO: Otros costos indirectos asociados.

- Presupuesto mantenimiento correctivo (PMC)

Incluye los costos relacionados con reparaciones imprevistas debido a fallas inesperadas en los equipos. A continuación, se muestra la formula

$$PMC = CMOC + CRC + CIC + CIF$$

*Ecuación 6*

Donde:

- CMOC: Costo de mano de obra correctiva.

- CRC: Costo de repuestos y materiales correctivos.
- CIC: Costo de intervención de emergencia.
- CIF: Costo de indisponibilidad por fallas.

### **1.6.6 Fase 6 Análisis ciclo de vida**

El Análisis de Costos del Ciclo de Vida (*Life-cycle cost análisis, LCCA*) es una herramienta que permite evaluar, de manera integral, todos los costos asociados a un activo a lo largo de su vida útil. Esto incluye desde la inversión inicial hasta los costos operativos, de mantenimiento (preventivo y correctivo) y, finalmente, el costo asociado a su disposición o reemplazo. Este análisis es especialmente útil para la toma de decisiones en el mantenimiento, ya que ayuda a identificar qué opción (por ejemplo, reparar o reemplazar un equipo) es más rentable a largo plazo.

Implementar un análisis LCCA en una pyme, aunque sea de forma básica, permite tener una visión completa de los costos a lo largo de la vida útil de un activo. Esto ayuda a optimizar decisiones de inversión y mantenimiento, a reducir costos y a planificar de manera estratégica.

#### **1.6.6.1 Metodología**

La metodología **Woodward** se emplea en el análisis de costos de ciclo de vida para estructurar y cuantificar estos costos. Su aplicación permite la optimización de inversiones en mantenimiento y la reducción del impacto financiero de las fallas a lo largo del tiempo.

El modelo de Woodward propone evaluar el impacto de los principales fallos en la estructura de Costes del sistema de producción, a partir de un simple proceso que se resume a continuación: En primer lugar, se determinan los tipos de fallo más importantes, y luego se asigna a cada tipo de fallo un valor constante de frecuencia de fallo (este valor no cambiará a lo largo de la vida prevista). Posteriormente, se estima el impacto en los Costes anuales generados por los fallos en la producción, las operaciones, el medio ambiente y la seguridad; y, por último, se estima en valor actual a una tasa de descuento específica. Este valor representa el impacto total de los Costes de los fallos durante los años de vida útil previstos.

### 1.6.6.2 Formula LCCA

La ecuación general utilizada en la metodología Woodward es:

$$LCCA = CI + CO + CMP + CIF + CMM$$

*Ecuación 7*

Donde:

- **CI:** Costos de adquisición e instalación.
- **CO:** Costos operacionales.
- **CMP:** Costos de mantenimiento preventivo.
- **CIF:** Costos de indisponibilidad por fallas.
- **CMM:** Costos de mantenimiento mayor o especiales.

Los pasos para la aplicación de la metodología Woodward incluyen:

1. Identificación de los costos del ciclo de vida: Se categorizan los costos en adquisición, operación, mantenimiento y disposición final del activo.
2. Recolección de datos históricos y estimaciones futuras: Se obtienen registros de costos previos y se proyectan escenarios futuros basados en tendencias de fallas y costos de mantenimiento.
3. Cálculo de los costos operativos y de mantenimiento: Se determina el impacto económico de cada tipo de intervención (correctiva, preventiva y predictiva).

4. Evaluación de costos de indisponibilidad: Se consideran las pérdidas de producción y costos asociados a tiempos fuera de servicio.
5. Comparación y selección de estrategias de mantenimiento: Se analizan distintas estrategias para minimizar los costos totales del ciclo de vida del activo.

### **1.6.7 Fase 7 Mejora Continua**

La mejora continua en la gestión de mantenimiento es un proceso sistemático y cíclico orientado a optimizar la eficiencia operativa, reducir los costos y aumentar la confiabilidad de los activos a lo largo del tiempo. Esta etapa o fase se destaca principalmente por la revisión periódica de procesos, la aplicación de metodologías de optimización y la integración de nuevas tecnologías. Algunas de estas tecnologías o herramientas de análisis son los mantenimientos centrado en confiabilidad (RCM), Análisis causa raíz (RCA) o aplicaciones de tecnologías de la industria 4.0 en los softwares de organización.

El enfoque debe alinearse con la estrategia organizacional, incorporando herramientas y utilizando ciclos de retroalimentación constantes que permitan optimizar el mantenimiento.

A continuación, están seleccionadas las técnicas y herramientas más accesibles dentro del mercado, las cuales permitirán la reducción de costos y aumentar la competitividad. Permitiendo un enfoque sistemático para mejorar continuamente sin necesidad de grandes inversiones.

#### 1.6.7.1 Técnicas y herramientas de Mejora Continua Más Accesibles

- Lean Manufacturing – Enfoque en la eliminación de desperdicios con bajo costo de implementación.
- Kaizen – Mejora continua con participación de todo el equipo, requiere más cultura organizacional que inversión.
- 5S – Organización del área de trabajo, bajo costo y alto impacto en eficiencia.
- RCA (*Root Cause Analysis*) – Identificación de causas raíz sin necesidad de software especializado.
- CBM (*Condition Based Maintenance*)- Estrategia de mantenimiento preventivo que depende del monitoreo de activos o equipos, para determinar cuándo es necesario realizar trabajos de mantenimiento.
- LCCA (*Life Cycle Cost Analysis*)- Metodología para identificar la evaluación del costo total de un activo a lo largo de su vida útil.

#### Herramientas y Tecnologías Más Accesibles

- Fractal – CMMS basado en la nube con versión gratuita o de bajo costo.
- UpKeep – Software de mantenimiento con planes económicos.
- Power BI – Alternativas accesibles para análisis de datos de mantenimiento.
- Sensores básicos de vibración y temperatura – Opciones de monitoreo asequibles para equipos críticos

### 1.6.7.2 Acciones claves para el monitoreo

El monitoreo constante de las intervenciones permite un seguimiento rápido y la detección temprana de fallas o desviaciones en la ejecución del mantenimiento.

Las acciones clave para el monitoreo en pequeñas empresas incluyen la definición de KPI, el registro estructurado de fallas, el análisis periódico de datos operativos y la aplicación de metodologías. Estas prácticas permiten supervisar el rendimiento, identificar desviaciones y fortalecer la gestión del mantenimiento dentro de un esquema de mejora continua.

A continuación, se recomiendan planes de acción para realizar el monitoreo de distintas tareas;

- Monitoreo semanal

Son ideales para la gestión operativa y ajustes menores. Un indicador que podría verse beneficiado con este tipo de seguimiento sería el MTTR (Tiempo medio de reparación) ya que al detectar las fallas tempranas y resolverlas en el momento se reducen los tiempos de inactividad de los equipos.

TAREAS SEMANALES	ESTADO
Registrar cada intervención realizada en equipos críticos/esenciales	✓
Inspección visual del estado de activos críticos	✓
Revisión de tablero de mantenimiento y actualización de estados de equipos	✓

Tabla 1-8 Tabla tarea semanal

Fuente: Elaboración propia

- Monitoreo Mensual

Este seguimiento permite una visión más amplia de la eficiencia operativa y facilita la comparación entre el mantenimiento programado y el realmente ejecutado, realizando ajustes oportunos en la planificación. Aplicable a indicadores de cumplimiento de tareas y avances de proyecto.

TAREAS MENSUALES	ESTADO
Analizar datos de fallos y detectar tendencias o patrones presentes	✓
Revisión de mantenimientos preventivos cumplidos satisfactoriamente	✓
Identificación de oportunidades de mejora en procesos o en uso de herramientas	✓

Tabla 1-9 Tabla tarea mensual

Fuente: Elaboración propia

- Monitoreo Trimestral/Semestral

En esta sección se pueden evaluar tendencias a mediano plazo, permitiendo una toma de decisiones estratégicas, desde ajustes o cambios en el plan de mantenimiento a reemplazo

de equipos. Aquí se benefician los indicadores relacionados a los costos de mantenimiento midiendo si están dentro del rango previamente estimado.

TAREAS TRIMESTRALES	ESTADO
Realizar reunión de equipo de mantenimiento y discutir los problemas recurrentes y soluciones aplicadas	✓
Evaluar los indicadores de mantenimiento (Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad)	✓
Comparar costos de mantenimiento correctivo vs preventivo para la toma de decisiones	✓

Tabla 1-10 Tabla tarea trimestral

Fuente: Elaboración propia

Estas breves tareas permitirán establecer un enfoque practico para el área encargada de medir y corregir procesos productivos. La correcta implementación de tareas que faciliten el monitoreo simplificará la gestión de recursos y entregará resultados eficientes.

## **CAPÍTULO 2: APLICACIÓN PARCIAL DEL MGM PYME-V1 HRA ING.CIVIL**

## 2.1 ANTECEDENTES GENERALES

Para la aplicación parcial del modelo de gestión de mantenimiento pyme (Imagen 4) fue seleccionada HRA Ingeniería civil LTDA, una empresa de ingeniería dedicada al área de recursos hídricos y cuentan que cuenta con una trayectoria de 20 años en el mercado prestando servicios de construcción y diseño de ingeniería. Si bien lleva desarrollándose un prolongado tiempo, recién en 2019 la empresa conto con proyectos de mayor envergadura.

En el área sanitaria desarrollan proyectos de ámbito urbano y rural, cuentan con proyectos solicitados por empresas tales como Esva, Aguas andinas, Aguas del valle, Esbbio y el MOP a través de los departamentos de agua potable rural. Los proyectos se desarrollan desde la III región hasta la VIII región y también cuentan con un área de consultoría en todo el país.

En el área riego destaca la participación con las tres secciones del rio Aconcagua. También prestan servicios a empresarios privados del área para el desarrollo de tranques y drenajes, así como obras civiles de riego en general.

En la siguiente imagen se muestra la ubicación de la Casa matriz.



Ilustración 5 Lote 2-A1 CH, Ruta 60, Quillota, Valparaíso

Fuente: Google Maps



Ilustración 6 Fachada Casa matriz

Fuente: HRA Ingenieros

## **2.2 FASE 1 ANALISIS ORGANIZACIONAL DEL MANTENIMIENTO**

La empresa se ve actualmente adquiriendo proyectos de riego dentro de la quinta región, pero la siguiente etapa que contempla el área de desarrollo de proyectos de la empresa es poder participar en distintos proyectos de la minería. Por esta razón se está profesionalizando y optimizando los procesos actuales.

Proyectos actuales:

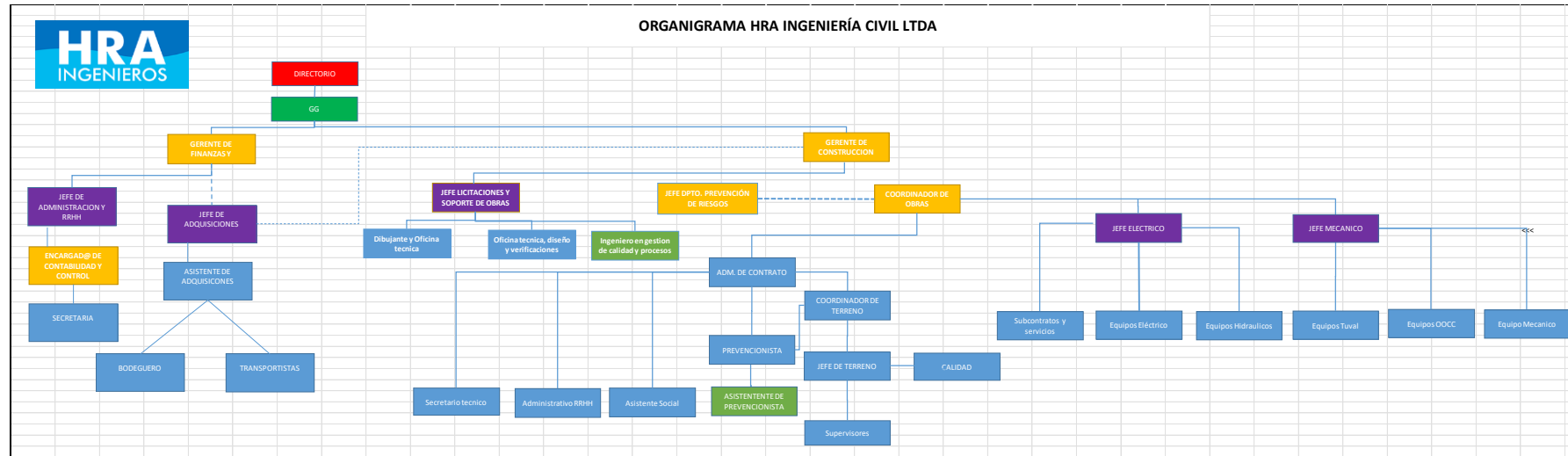
- Caramucho
- Laraquete
- San Alfonso
- Los Leones
- Quincanque

### **2.2.1 Organigrama**

En HRA Ingenieros existen 3 departamentos esenciales Área de Desarrollo, Obra y Mantenimiento. Estos 3 departamentos son los encargados de distribuir el personal y recursos de la empresa para cumplir con sus proyectos actuales. En el siguiente esquema es posible observar la subdivisión de categorías y puestos.

# Ilustración 7 Organigrama HRA Ingeniería

Fuente: HRA Ingeniería





En el ámbito de tecnología utilizan software de diseño como AutoCad, software de gestión como Google Sheets y Excel.

### **2.2.5 Documentación de procesos críticos**

Actualmente se aplicó una plantilla de registro visual básico para la supervisión de componentes de camionetas. Anteriormente manejaban registros escritos y archivados de forma aleatoria. Falta la aplicación de ordenes de trabajo y registro posterior de datos escritos manualmente

### **2.3 FASE 2 JERARQUIZACIÓN DE ACTIVOS**

A continuación, se seleccionaron una serie de activos para ser utilizados en este caso de estudio. Son activos que actualmente no están previamente registrados en la empresa y tienen una actividad operacional diaria.

Los activos seleccionados son:

- CORTADORA DE HORMIGÓN SOFF-CUT X150
- GENERADOR DPERK DP33
- PLACA COMPACTADORA BENCINERA HUSQVARNA LFV80

La recolección de datos fue realizada mediante entrevistas con el equipo técnico mecánico, eléctrico y con el equipo de gerencia de la empresa.

### 2.3.1 Cortadora de hormigón SOFF-CUTX150

CAMPO	DATO
Código del activo	CORT-HORM-150-01
Función del activo	Cortadora de pavimentos frescos. Está diseñada para hacer cortes precisos, que evitan el agrietamiento.
Ubicación	Bodega
Nivel jerárquico	Casa Matriz → Obras de construcción → Bodega
Importancia operativa	5
Impacto en el negocio	4

CAMPO	DESCRIPCIÓN
<b>DATOS DEL ACTIVO</b>	
Fabricante	Husqvarna
Modelo	Soff-Cut x150
Año de adquisición	2023-2024
Costo de adquisición	\$3584.42 USD
<b>DATOS OPERACIONALES</b>	
Horas de operación acumuladas	4 a 5 [h]
Frecuencia de uso (Diario/Semanal)	Diario
Condiciones de Operación	Actividad en sitios rurales
Criticidad del activo	Alta
<b>HISTORIAL DE MANTENIMIENTO</b>	
Fecha de ultimo mantenimiento	14-02-2025
Tipo de mantenimiento realizado	Correctivo
Frecuencia de fallos	60 [año]
Tiempo medio de reparación	2 [h]
<b>DATOS DE FALLAS</b>	
Descripción de falla regular	Fractura de cuerda de arranque retráctil
Causas identificadas	Mal uso por parte de operarios
Acciones correctivas aplicadas	Reemplazo de partes afectadas

Tabla 2-1 Cortadora de hormigón

Fuente: Elaboración propia - HR

### 2.3.1.1 Registro fotográfico Cortadora de hormigón



Ilustración 9 Cortadora de hormigón

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.2 GENERADOR BAUKER 2200 W 15L

<b>CAMPO</b>	<b>DATO</b>
<b><i>Código del activo</i></b>	GEN-BAUK-01
<b><i>Función del activo</i></b>	Los generadores sirven para proporcionar energía provisional a los proyectos en terreno que tenga la empresa.
<b><i>Ubicación</i></b>	Taller Eléctrico
<b><i>Nivel jerárquico</i></b>	Casa Matriz → Obras de construcción → Bodega → Taller Eléctrico
<b><i>Importancia operativa</i></b>	5
<b><i>Impacto en el negocio</i></b>	3

CAMPO	DESCRIPCIÓN
<b>DATOS DEL ACTIVO</b>	
Fabricante	Bauker
Modelo	GG2800
Año de adquisición	2024
Costo de adquisición	\$313.20 USD
<b>DATOS OPERACIONALES</b>	
Horas de operación acumuladas	6
Frecuencia de uso (Diario/Semanal)	Diario
Condiciones de Operación	Condiciones climáticas normales (20°C)
Criticidad del activo	Alta
<b>HISTORIAL DE MANTENIMIENTO</b>	
Fecha de ultimo mantenimiento	10/06/2024
Tipo de mantenimiento realizado	Mantenimiento preventivo
Frecuencia de fallos	12 fallas anuales
Tiempo medio de reparación	3 [h]
<b>DATOS DE FALLAS</b>	
Descripción de falla regular	Filtros de aire obstruidos
Causas identificadas	No existe un plan preventivo para los generadores y mala disposición de elementos en terreno
Acciones correctivas aplicadas	Cambio de filtros

Tabla 2-2 Generador eléctrico Bauker

Fuente: Elaboración propia-HRA

### 2.3.2.1 Registro fotográfico Generador eléctrico



Ilustración 10 Generador Electrico

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.3 PLACA COMPACTADORA BENCINERA HUSQVARNA Lfv80

CAMPO	DATO
<b>Código del activo</b>	PLAC-COMP-01
<b>Función del activo</b>	Permite nivelar el suelo para la correcta disposición de estructuras en terreno
<b>Ubicación</b>	Taller metalmecánico
<b>Nivel jerárquico</b>	Casa Matriz → Obras de construcción → Taller Estructura mecánica
<b>Importancia operativa</b>	4
<b>Impacto en el negocio</b>	3

CAMPO	DESCRIPCIÓN
<b>DATOS DEL ACTIVO</b>	
Fabricante	Husqvarna
Modelo	LFV80
Año de adquisición	2023
Costo de adquisición	\$3584.42 USD
<b>DATOS OPERACIONALES</b>	
Horas de operación acumuladas	3 [h]

Frecuencia de uso (Diario/Semanal)	Diario
Condiciones de Operación	Actividad en sitios rurales
Criticidad del activo	Media
<b>HISTORIAL DE MANTENIMIENTO</b>	
Fecha de ultimo mantenimiento	14-02-2025
Tipo de mantenimiento realizado	Correctivo
Frecuencia de fallos	50 [año]
Tiempo medio de reparación	2 [h]
<b>DATOS DE FALLAS</b>	
Descripción de falla regular	Fractura de piezas
Causas identificadas	Mal uso por parte de operarios
Acciones correctivas aplicadas	Reemplazo de partes afectadas

Tabla 2-3 Placa compactadora

Fuente: Elaboración propia-HRA

### 2.3.3.1 Registro fotográfico Placa compactadora



Ilustración 11 Placa compactadora

Fuente: Leis

#### **2.3.4 Actualización datos de flota**

En conjunto con el diseño de estas plantillas de trabajo se perfecciono el registro actual de flota de camiones, camionetas y excavadoras. Definiendo así datos relevantes para el control de las operaciones, tales como; patente de la maquinaria, modelo, kilometraje total, próxima revisión técnica, ultimo mantenimiento, cambios de aceite y personal asignado. Tambien se incorporó el registro de fallas de la flota, mediante la plataforma de Google Forms se diseñó un cuestionario simple para la aplicación de registro, de tal manera que los técnicos mecánicos puedan ir registrando los mantenimientos correctivos que sean aplicados, y de esta manera el jefe de operaciones mantenga un control total sobre las actividades diarias.

A continuación se muestran imágenes con las propuestas ya integradas en las plataformas de Google sheets y Google forms .

### 2.3.4.1 Registro visual datos flota

Estado	PATENTE	Marca / Patente	TIPO DE EQUIPO	N° MOTOR	PLACA CHASIS	N°	MARCA	MODELO	AÑO	BLE
Op.	TJHJ-92	MAXUS / TJHJ-92	CAMIONETA	M9233019636	5FAM11A9PA098061	C52	MAXUS	T60 4X2 DX	2024	DIES
Op.	TJHJ-92	KARRY / TJHJ-92	CAMIONETA	M9233019636	5FAM11A9PA098061	C52	KARRY	T60 4X2 DX	2024	DIES

Estado	PATENTE	Marca / Patente	tag	GPS	PROPIEDAD MPA	Término Leasing	ASEGURADORA/Poliza	Un. de medicio	Kilometraje Manual	Kilometraje GPS	Fecha de Medición Manual	Fecha Medición
Op.	TJHJ-92	MAXUS / TJHJ-92	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	15/05/27	LEASING BCI	Km	2319	16913	15/5/2024	26/02/2
Op.	TJHJ-92	KARRY / TJHJ-92	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SI							


Estado	PATENTE	Marca / Patente	VENCI. PERMISO DE CIRCULACION	VENCI. SOAP	VENCI. REV. TECNICA	Cambio de aceite	km	HM	RESPONSABLE ASIGNADO	Proyecto		
Op.	TJHJ-92	MAXUS / TJHJ-92	31/3/2025	32	31/3/2025	32	30/5/2026	457	21000	4.087	TORRES VALENC...	SSR Pocochay - MOP
Op.	TJHJ-92	KARRY / TJHJ-92	31/3/2025	32	31/3/2025	32	30/5/2026	457	10000	3.304	CAETE BUETAM...	SSR Pocochay - MOP

Ilustración 12 Datos de flota actualizados

Fuente: HRA Ingenieros

### 2.3.4.2 Registro visual fallas flota

## SOLICITUD DE REPARACION, MANTENCION Y/O REPUESTOS.

sebaenriaba@gmail.com [Cambiar de cuenta](#) 

El nombre, el correo y la foto asociados a tu cuenta de Google se registrarán cuando subas archivos y envíes este formulario

\* Indica que la pregunta es obligatoria


**Correo \***

Tu dirección de correo electrónico


**Nombre de mecanico a cargo \***

Tu respuesta

**ESTADO DEL EQUIPO \***

Elige 


**PATENTE \***

Elige 

Si la respuesta anterior fue "OTRA", especificar Equipo y PPU

Tu respuesta

**PROYECTO \***

Elige 

PROYECTO \*

Elige ▾

TIPO DE MANTENCIÓN \*

Elige ▾

NIVEL DE GRAVEDAD \*

Elige ▾

TIPO DE TRABAJO REALIZADO \*

- Mantenimiento por Km/HR. cumplidas
- Reparación Hidráulica
- Reparación Neumatica
- Reparación Eléctrica o electrónica
- Reparación mecánica de motor
- Reparación estructural
- Reparación de frenos
- Cambio de embrague
- Reparación de suspensión
- Otro

SI LA RESPUESTA ANTERIOR FUE OTRA, DESCRIBA \*

Tu respuesta

HORAS HOMBRE UTILIZADAS ( SOLO NUMERO)

Tu respuesta

Tipo de aceite, refrigerante o grasa ocupado.

- 15W40
- 5W30
- 10W
- NUTO 68
- COOLANT
- GRASA
- OTRO

LITROS O KILOS OCUPADOS.  
RESPONDA LO MAS JUSTO POSIBLE

Tu respuesta

AGREGAR FOTO, SOLO SI APLICA.

Sube 1 archivo compatible. Tamaño máximo: 10 MB.

[📎 Añadir archivo](#)

Se enviará una copia de tus respuestas por correo electrónico a la dirección que has proporcionado.

[Enviar](#)  [Página 1 de 1](#) [Borrar formulario](#)

Nunca envíes contraseñas a través de Formularios de Google.


 reCAPTCHA

Ilustración 13 Registro de fallas Google Forms

Fuente: Elaboración propia-Hra Ingenieros

## 2.4 FASE 3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

A continuación, con los datos previamente seleccionados y registrados, se aplicará una matriz de criticidad para medir el impacto que tiene el activo dentro de la operación. El modelo hace referencia según la fase 3 del MGM Pyme-v1, en la tabla 1-4.

### 2.4.1 Cortadora de hormigón SOFF-CUTX150

Según el registro de datos la frecuencia de fallas 60 fallas al año, de tal manera que representa una frecuencia de fallas 5 mensualmente y se cataloga como frecuente. Y en escala de consecuencias se considera el impacto que tiene en el negocio, que es 4. El cual contempla criterios de seguridad y riesgo para la ejecución del trabajo.

Dando como resultado que el activo se considera Altamente critico

Frecuencia de fallas (FF)	5	M	M	A	A	A
	4	M	M	M	A	A
	3	B	M	M	M	A
	2	B	M	M	M	M
	1	B	B	B	M	M
		1	2	3	4	5
Consecuencias						

Tabla 2-4 Matriz de criticidad Cortadora

Fuente: Elaboración propia-HRA

### 2.4.2 Generador Bauker 2200 w 15l

Según el registro de datos la frecuencia de fallas es 12 fallas al año, esto representa una frecuencia de 1 falla mensual, por lo que se cataloga como falla raramente. Y en escala de consecuencias para el negocio y ejecución de trabajo presenta un 4.

Dando como resultado que el activo se considera Medianamente crítico.

Frecuencia de fallas (FF)	5	M	M	A	A	A
	4	M	M	M	A	A
	3	B	M	M	M	A
	2	B	M	M	M	M
	1	B	B	B	M	M
		1	2	3	4	5
		Consecuencias				

Tabla 2-5 Matriz de criticidad generador

Fuente: Elaboración propia-HRA

### 2.4.3 Placa compactadora bencinera Husqvarna LFV80

Según el registro de datos la frecuencia de fallas es 50 fallas al año, esto representa una frecuencia de 4 fallas mensuales, por lo que se cataloga como falla frecuente. Y en escala de consecuencias para el negocio y ejecución de trabajo presenta un 3.

Dando como resultado que el activo se considera Medianamente crítico.

Frecuencia de fallas (FF)	5	M	M	A	A	A
	4	M	M	M	A	A
	3	B	M	M	M	A
	2	B	M	M	M	M
	1	B	B	B	M	M
		1	2	3	4	5
Consecuencias						

Tabla 2-6 Matriz de criticidad Compactadora

Fuente: Elaboración propia-HRA

#### 2.4.4 Tabla de resultados parciales

Según la información recolectada anteriormente y la aplicación de estrategias de gestión de mantenimiento, es posible medir los niveles críticos de los activos.

Este análisis facilita la categorización de los activos, permitiendo una gestión estructurada basada en criterios de criticidad y confiabilidad. De este modo, se optimiza la toma de decisiones para la planificación y ejecución de estrategias de mantenimiento preventivo, garantizando la continuidad operativa y la eficiencia en la asignación de recursos.

En resumen, se obtiene el siguiente análisis

Activo	Nivel de Criticidad	
CORT-HORM 150-01	Alto	
GEN-BAUK-01	Medio	
PLAC-COMP-01	Medio	


Tabla 2-7 Resultado de análisis

Fuente: Elaboración propia-HRa

### 2.4.5 Análisis de causa raíz

Según los activos seleccionados, en caso de presentarse una falla, se puede aplicar la siguiente plantilla (Plantilla 1-5), para realizar un análisis de causa raíz, permitiendo identificar el origen del problema y mitigar su recurrencia. Esta metodología contribuye a la optimización de costos operativos y puede integrarse estratégicamente en los planes de mantenimiento para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

Para aplicar esta metodología fue necesario contar con la experiencia del personal de mantenimiento y de esta manera asegurar una recolección de datos en tiempo real. El personal fue orientado en como rellenar este tipo de formato para aplicaciones futuras.

		<i>MGM- Pyme</i>				
Plantilla					Código	01
Fecha	14-02-2025	Proceso/Función	Cortadora	Área	Terreno - Laraqueta	
Identificación de personal						
Nombre	Nicolas González					
Cargo	Técnico Mecánico					
Definición del problema						
Descripción de la falla		Se corta la correa de arranque retráctil				
5 por que	¿por qué?	Por un desgaste en la correa				
	¿por qué?	Por una mala ejecución por parte de los operarios				
	¿por qué?	No existe una estandarización de uso de maquinaria				
	¿por qué?	No hay capacitación del personal				
	¿por qué?					
Causa raíz del problema		No existe control ni capacitación para personal operario				
Acciones correctivas						

Solución	Reemplazo de correa	
Fecha de aplicación	14-02-2025	
Acciones Preventivas		
Solución Preventiva	Capacitación de utilización de herramientas	
Estado de solicitud		
Aplicada	X	Marca con una (X) según corresponda
En proceso		
Rechazado		

Tabla 2-8 Plantilla 5 ¿Por qué? Cortadora

Fuente: Elaboración propia-HRA

Para la ejecución de esta metodología, el personal de mantenimiento fue el encargado de describir las fallas y detallar los procedimientos y usos actuales que se le dan a las herramientas de la empresa. Este tipo de prácticas permiten un desarrollo autónomo de identificación de orígenes de fallas, dentro del equipo técnico de mantenimiento. Algunos beneficios son la estandarización de procesos de análisis causa raíz, la medición y toma de datos dentro del equipo y la facilitación de información para el área de operaciones por parte del equipo de mantenimiento.

## **CAPÍTULO 3: DESARROLLO DE INDICADORES**

### **3.1 Caso de estudio**

Para realizar un análisis más completo de los resultados de la implementación parcial del modelo de gestión de mantenimiento para pymes, es necesario comparar los indicadores claves que representan la funcionalidad del departamento de operaciones.

El tiempo promedio seleccionado fue Noviembre/Diciembre 2024 y Enero/Febrero 2025. El activo seleccionado fue Cortadora de Hormigón, ya que esta posee data más actualizada hasta la fecha.

#### **3.1.1 Datos**

Tiempo promedio operativo 4-5 horas diarias, mensualmente equivale a un promedio operativo de 80 horas. El técnico demora 30 minutos en realizar el cambio de pieza. El reemplazo de correa retráctil tiene un precio de \$10.840. Considerando el traslado del equipo de mantenimiento hasta el lugar donde se ejecuta el proyecto el activo tiene un tiempo fuera de servicio de 3 horas en promedio. En los meses de Noviembre y Diciembre presento un promedio total de 8 fallas. Por otro lado, en los meses de Enero y Febrero presento un promedio total de 3 fallas.

A continuación, para este caso de estudio, se elaboró una plantilla en Excel para ingresar los datos de una manera más rápida y eficiente. También se aplicaron los indicadores mencionados en el capítulo 1, y se realizó el cálculo según las fórmulas (1), (2), (3) y (4).

NOV-DIC 2024			
DATOS	Diario	Mensual	UNIDAD
TPO	4	80	[h]
TPR	0,5	0,5	[h]
FF		8	ff/mensuales
MTTR	0,0625		[h]
<b> </b>			
TPFS	3		[h]
Costo de pieza	\$	11.71	[USD]
Costo de hh	\$	3.71	[usd/h]
<b> </b>			
MTBF	10		
DISPONIBILIDAD	99,3789		%
CIF	\$	370.09	[USD]

Tabla 3-1 Plantilla CIF noviembre-diciembre

Fuente: Elaboración propia-HRA

ENE-FEB 2025			
DATOS	Diario	Mensual	UNIDAD
TPO	4	80	[h]
TPR	0,5	0,5	[h]
FF		3	ff/mensuales
MTTR	0,1667		[h]
<b> </b>			
TPFS	3		[h]
Costo de pieza	\$	11.71	[USD]
Costo de hh	\$	3.71	[USD]
<b> </b>			
MTBF	26,67		
DISPONIBILIDAD	99,3789		%
CIF	\$	138.78	[USD]

Tabla 3-2 Plantilla CIF enero-febrero

Fuente: Elaboración propia-HRA

### 3.1.2 Cuadro comparativo de indicadores

En la siguiente tabla se pueden observar los datos obtenidos

INDICADORES	Nov-Dic 2024	Ene-Feb 2025
MTBF	10	26
FF	8	3
MTTR	0.0625	0.1667
D	99,37	99,37
CIF [USD]	\$370.09	\$138.78

Tabla 3-3 Cuadro comparativo de resultados CIF

Fuente: Elaboración propia-HRA

#### 3.1.2.1 Análisis de resultados

Para este caso la disponibilidad del activo es la misma, pero el costo de indisponibilidad por fallo es menor en los meses de enero y febrero, esto se logra mediante la reducción de fallas mensuales. El costo previsto para el año 2025 es un tercio del costo del año 2024. Mediante la aplicación de acciones tempranas es posible disminuir el gasto económico en gran medida.

### 3.2 PRESUPUESTOS EN HRA INGENIEROS

A continuación, se presenta una tabla dinámica con todos los gastos relacionados a las mantenencias preventivas y correctivas. Se aplicaron las fórmulas expuestas en el capítulo 1 y se realizó el cálculo basado en las fórmulas (5) y (6).

Suma de Monto	Etiquetas de columna		Total general
Etiquetas de fila	410401 Mantenión Correctiva	410402 Mantenión Preventiva (en blanco)	
+ <18-10-2019			
+ 2019	\$ -8.235.554		\$ -8.235.554
+ 2020	\$ -27.179.767	\$ -22.807.485	\$ -49.987.252
+ 2021	\$ -39.218.642	\$ -13.767.059	\$ -52.985.701
+ 2022	\$ -40.723.642	\$ -24.240.571	\$ -64.964.213
+ 2023	\$ -77.968.679	\$ -42.503.903	\$ -120.472.582
+ 2024	\$ -71.520.361	\$ -32.814.443	\$ -104.334.804
+ 2025	\$ -13.941.630	\$ -8.286.735	\$ -22.228.365
Total general	\$ -278.788.275	\$ -144.420.196	\$ -423.208.471

Tabla 3-4 Presupuestos HRA Ing Civil

Fuente: Elaboración propia y HRA

#### 3.2.1 Análisis de tabla

Se puede observar que el gasto de mantenimiento preventivo es la mitad del gasto de mantenimiento correctivo. Justamente en los años 2023 y 2024 la empresa adquirió nuevos proyectos y a su vez el aumento de gastos imprevistos. Al no poseer planes preventivos la empresa se ve en la necesidad de adquirir nuevas herramientas para una correcta gestión de presupuestos para los años futuros.

### **3.3 Aspectos claves para la implementación del modelo**

El MGM Pyme-V1 es un modelo de gestión de mantenimiento diseñado para las empresas de menor tamaño, que buscan mejorar el control de sus activos sin requerir grandes inversiones tecnológicas. Cuenta con distintas metodologías y herramientas que permiten la aplicación estructurada y adaptada a empresas con recursos limitados.

Para destacar la adaptabilidad y facilidad de implementación se genera un análisis estructural que destaca sus principales fortalezas, amenazas, oportunidades y debilidades.

Las fortalezas principales del modelo MGM Pyme-V1 radican en su adaptabilidad a pequeñas empresas con recursos limitados, permitiendo una implementación sencilla y eficiente. Además de su facilidad de implementación cuenta con herramientas accesibles para el seguimiento de tareas y registros. Otro aspecto fundamental es la integración de indicadores clave de desempeño (KPI), que permiten evaluar y mejorar la gestión de activos. Asimismo, el modelo destaca por su énfasis en el análisis de fallas, lo que contribuye a reducir incidencias recurrentes y mejorar la continuidad operativa.

Las oportunidades que se esperan conseguir con la implementación del MGM Pyme-V1 incluyen la posibilidad de integración con herramientas digitales que faciliten la recolección y análisis de datos en tiempo real. Además, la aplicación del modelo impulsa la capacitación del personal y la adopción de una cultura de mantenimiento, fortaleciendo la gestión interna. También se espera una reducción en los costos operativos, ya que un mantenimiento más estructurado disminuye la necesidad de reparaciones correctivas y extiende la vida útil de los activos. Otra oportunidad clave es el cumplimiento normativo, ya que su aplicación contribuye a mejorar la seguridad y alinearse con estándares de calidad y operación.

Las debilidades presentes y futuras del modelo están relacionadas con su dependencia de la disciplina organizacional, ya que su éxito requiere compromiso y seguimiento continuo

por parte del equipo de trabajo. La resistencia al cambio puede ser un desafío en empresas con estructuras menos formales, donde la implementación de nuevas metodologías suele ser vista como una carga adicional. Además, las limitaciones de recursos humanos pueden afectar su funcionamiento, ya que muchas pequeñas empresas no cuentan con un equipo especializado en mantenimiento, lo que dificulta la asignación de responsabilidades.

Por otra parte, las amenazas latentes se encuentran principalmente en la falta de apoyo gerencial, ya que, si la dirección de la empresa no respalda la iniciativa, su aplicación será limitada y difícil de sostener en el tiempo. La ausencia de datos históricos es otro obstáculo, pues muchas pequeñas empresas no cuentan con registros previos de fallas o mantenimientos, lo que dificulta el análisis inicial y la toma de decisiones basadas en datos. A pesar de un buen plan de mantenimiento, siempre existe el riesgo de fallas imprevistas, que pueden afectar la operatividad de los equipos y comprometer la continuidad del negocio. Asimismo, el modelo debe enfrentarse a la competencia con otras prioridades empresariales, ya que en muchas pequeñas empresas la gestión de mantenimiento suele quedar en segundo plano frente a la producción o entrega de servicios.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

A partir del análisis del contexto operativo de las Pymes y sus desafíos en la gestión de mantenimiento, se ha desarrollado un Modelo de Gestión de Mantenimiento orientado a optimizar la administración de activos, reducir costos operativos y mejorar la planificación de intervenciones. La aplicación de metodologías estructuradas, como la ISO 14224, análisis de criticidad y evaluación de indicadores clave, permitió establecer un enfoque escalable y adaptable a empresas con recursos limitados.

La implementación del modelo ha demostrado su viabilidad para mejorar la gestión del mantenimiento en entornos industriales con escasez de historial de datos y estrategias formales. Sin embargo, su efectividad dependerá de la capacidad de cada empresa para registrar información operativa, ajustar las estrategias de mantenimiento y fomentar la mejora continua en sus procesos. En el caso particular de la empresa que fue utilizada para realizar este análisis, dio como resultado mejoras en la recolección de datos, implementando sistemas ágiles para los técnicos en terreno. Mejorar el posicionamiento del taller de mantenimiento dentro de la estructura global de la empresa, al contratar más personal capacitado y la búsqueda de opciones de mejora.

Dado que en muchas Pymes no existe un registro detallado de fallas, tiempos de operación y costos asociados, se recomienda la implementación de sistemas básicos de recopilación de datos y la actualización periódica del plan de mantenimiento, también metodologías como las 5S para la organización física dentro del taller mecánico. Esto permitirá optimizar la toma de decisiones, mejorar la disponibilidad de los equipos y fortalecer la confiabilidad operativa, asegurando una gestión eficiente y sostenible del mantenimiento.

## **Bibliografía**

- Asociación de Industrias Metalúrgicas y Metalmecánicas A.G, ASIMET  
<https://www.asimet.cl>
- International Organization for Standardization. (2002). ISO 14224:2015
- Biblioteca del congreso nacional de Chile (BCN), Ley 20416 (2010)
- Parra, C., y Crespo, A. 2015. “Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos. Desarrollo y aplicación práctica de un Modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM)”. Segunda Edición. Editado por INGEMAN, Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Sevilla, España
- EN 15341:2007, Maintenance. Maintenance Key Performance Indicators.
- Marsch, J. 2000. Herramientas para la Mejora Continua. Madrid: Ediciones AENOR.
- A. Arata y L. Furlanetto. "Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento". RIL Editores. 1ª Edición. Santiago, Chile. p. 924. 2005. ISBN: 9562844331.
- Parra, C., Crespo, A. (2020). Nota técnica 1: Introducción a un modelo integral de Gestión del Mantenimiento (MGM). INGEMAN, Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Sevilla, España.

- CRESPO A., GONZÁLEZ-PRIDA V., GÓMEZ J. Advanced Maintenance Modelling for Asset Management. Techniques and Methods for Complex Industrial Systems. Germany: Springer International Publishing, 2018
- WOODWARD, D. G. Life Cycle Costing - Theory, Information Acquisition and Application. International Journal of Project Management, Dec. 1997.