

**GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPOS
MOTOCOMPRESORES DE GAS**



PLASENCIO, Cristian

PROYECTO INTEGRADOR PROFESIONAL

Presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del
Comahue como requisito para la obtención del grado de
INGENIERO MECÁNICO

Neuquén - Argentina

2023

**GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPOS
MOTOCOMPRESORES DE GAS**

PLASENCIO, Cristian

Director: Ing. **CAMPOS, Damián**

Presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del
Comahue como requisito para la obtención del título de grado de
INGENIERO MECÁNICO

Neuquén - Argentina

2023

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPOS MOTOCOMPRESORES DE GAS

PLASENCIO, Cristian

Aprobado en fecha 18 de Diciembre de 2023.

Tribunal evaluador:

- Mg. Ing. KEIL, Germán
- Mg. Ing. AUDISIO, Orlando
- Ing. TROFFÉ, Mario

AGRADECIMIENTOS

A todas aquellas personas que siempre me alentaron a poder concluir mi carrera de grado. Especialmente a mi esposa Fabiana que, junto a mis hijos, siempre me acompañaron en cada momento.

A mis padres José y Miriam, a mi hermano Gastón y a todos mis amigos que siempre estuvieron a mi lado.

A mis compañeros y profesores de la Universidad Nacional del Comahue, que me guiaron y enseñaron. A quienes me abrieron las puertas en todo momento.

A Jose Calvet (Industrias Juan F. Secco) y Luciano Fovoretti (Pluspetrol S.A), quienes confiaron en mí y posibilitaron mi desarrollo como Ingeniero Mecánico en la industria, permitiendo que desarrolle el presente trabajo dentro de mis obligaciones laborales.

A Damián Campos, compañero de estudio y ahora director de PIP, quien me convocó y apoyó para que finalice la carrera, estando siempre presente.

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPOS MOTOCOMPRESORES DE GAS

Autor: PLASENCIO, Cristian

Director: Ing. CAMPOS, Damián

Resumen

Este trabajo presenta la aplicación de una metodología integral de gestión de activos a un caso específico en una planta compresora de gas. Al seguir las etapas detalladas en la metodología, se realizó un diagnóstico exhaustivo de la Organización, identificando los objetivos estratégicos y las necesidades operativas relacionadas con los equipos motocompresores. La jerarquización de activos permitió establecer prioridades, clasificando el motocompresor según su importancia estratégica y criticidad operativa. La revisión y actualización del plan de mantenimiento se llevaron a cabo de manera específica, adaptándose a las características particulares del motocompresor y aprovechando las recomendaciones derivadas de la jerarquización. Se implementó un sistema de control y seguimiento que emplea indicadores clave de rendimiento para evaluar tanto la eficiencia operativa como la confiabilidad del motocompresor. El análisis económico proporcionó una visión detallada de los costos asociados con la operación y mantenimiento de la planta, comparándolos con una alternativa de alquiler. Esto permitió evaluar la rentabilidad y eficiencia de la planta, identificando oportunidades concretas de optimización y reducción de costos sin comprometer la confiabilidad operativa. La aplicación de la metodología propuesta no solo mejoró la confiabilidad de los motocompresores, sino que también proporcionó a la Organización una base sólida para la gestión integral de activos en la planta de compresión de gas.

*Palabras clave: Motocompresor, Gestión de Activos,
Mantenimiento, Confiabilidad.*

MAINTENANCE MANAGEMENT FOR GAS MOTOR COMPRESSOR EQUIPMENT

Author: PLASENCIO, Cristian

Advisor: Ing. CAMPOS, Damián

Summary

This work applies a comprehensive asset management methodology to a specific case in a gas compression plant. Following the detailed stages outlined in the methodology, a thorough organization diagnosis was conducted, identifying strategic objectives and operational needs related to the compressor equipment. Asset prioritization allowed prioritizing priorities and classifying the compressor according to its strategic importance and operational criticality. The maintenance plan was reviewed and updated precisely, adapting to the particular characteristics of the compressor and leveraging recommendations derived from the asset prioritization. A monitoring and control system was implemented, utilizing key performance indicators to assess the operational efficiency and reliability of the compressor. The economic analysis provided a detailed overview of the costs associated with the operation and maintenance of the plant, comparing them with a rental alternative. This allowed for an evaluation of the profitability and efficiency of the plant, identifying specific opportunities for optimization and cost reduction without compromising operational reliability. Applying the proposed methodology enhanced the compressors' reliability and provided the organization with a solid foundation for comprehensive asset management in the gas compression plant.

*Keywords: Motor Compressor, Asset Management,
Maintenance, Reliability.*

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
2. FUNDAMENTACIÓN	3
3. OBJETIVOS	4
4. MARCO TEÓRICO	5
4.1. Sistema de compresión	5
4.2. Gestión de Activos	8
4.3. Mantenimiento Industrial	14
4.3.1. Mantenimiento Correctivo	15
4.3.2. Mantenimiento Preventivo	16
4.3.3. Mantenimiento Predictivo	18
4.3.4. Mantenimiento Proactivo	19
4.4. Relación entre Gestión de Activos y Gestión de Mantenimiento	20
4.5. Datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos	20
4.6. Gestión del Riesgo	25
5. METODOLOGÍA	30
6. DESARROLLO	32
6.1. Diagnóstico de la Organización	32
6.1.1. Contexto Operacional	34
6.1.2. Identificación de Activos	36
6.1.3. Análisis de Antecedentes	37
6.1.4. Definición del Alcance y Objetivos del SGM	39
6.2. Jerarquización de Activos	43
6.2.1. Análisis de Fallas	45
6.2.2. Disponibilidad Operativa	54
6.2.3. Análisis de Confiabilidad	58
6.2.4. Análisis de Criticidad	61

6.3. Revisión y actualización del Plan de Mantenimiento	64
6.4. Control y Seguimiento del Mantenimiento	76
6.5. Análisis Económico	77
7. REFLEXIONES FINALES	81
8. CONCLUSIONES	83
9. REFERENCIAS	84

Índice de Figuras

1.	Planta Compresora PC1.	2
2.	Equipo motocompresor.	5
3.	Motor.	6
4.	Vista general del compresor.	7
5.	Detalle en corte del compresor.	7
6.	Detalle en corte del cilindro del compresor.	8
7.	Relación entre los términos clave dados por la Norma ISO 55000 (adaptado de ISO 55000 (2015)).	11
8.	Curva de Davies o de la bañera.	17
9.	Clasificación de la Taxonomía con niveles taxonómicos (ISO 14224, 2016).	22
10.	Tiempos de Mantenimiento dados por la Norma ISO 14224 (adaptado de ISO 14224 (2016)).	24
11.	Vinculación entre actividades en la Gestión del Riesgo (adaptado de ISO 31000 (2018)).	26
12.	Taxonomía de Ubicaciones Técnicas.	36
13.	Registro histórico de paros en equipos MC discriminados por planta.	38
14.	Representación temporal de los indicadores.	42
15.	Indicadores de Mantenimiento Planta PC1 (Año: 2022).	45
16.	Indicadores de Mantenimiento Planta PC3 (Año: 2022).	46
17.	Cantidad de fallas del motor PC1 (según Tabla 1).	47
18.	Cantidad de fallas del compresor PC1 (según Tabla 2).	48
19.	Cantidad de fallas del <i>skid</i> PC1 (según Tabla 3).	49
20.	Cantidad de fallas del <i>fan</i> PC1 (según Tabla 4).	50
21.	Cantidad de fallas del motor PC3 (según Tabla 5).	51
22.	Cantidad de fallas del compresor PC3 (según Tabla 6).	52
23.	Cantidad de fallas del <i>skid</i> PC3 (según Tabla 7).	53
24.	Cantidad de fallas del <i>fan</i> PC3 (según Tabla 8).	54
25.	Indicadores de Mantenimiento por planta según evolución anual.	55

26.	Disponibilidad para cada MC instalado en la planta PC1 según evolución anual.	56
27.	Disponibilidad para cada MC instalado en la planta PC3 según evolución anual.	57
28.	Probabilidad de fallos para cada subsistema por planta (Año: 2022).	58
29.	Probabilidad de fallos del sistema de compresión.	59
30.	Comparación de diversos escenarios de operación del sistema.	61
31.	Consignación de equipos.	72
32.	Vista general del taller.	74
33.	Análisis económico.	79

1. INTRODUCCIÓN

Según la norma [UNE-EN 13306 \(2018\)](#), se puede definir el mantenimiento como la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión durante el transcurso del ciclo de vida de un elemento, equipo o instalación con el propósito de preservar o devolverlo a un estado en el que puede desempeñar una función específica.

En este sentido, el propósito del mantenimiento en cada nivel de su estructura organizacional es proporcionar estrategias de mejora, a partir del diagnóstico y análisis de oportunidades, y de la evaluación del impacto del mantenimiento en la Organización.

Como se sabe, llevar a cabo las tareas de mantenimiento no se limita a realizar reparaciones tan pronto como sea posible después de ocurrida la falla o avería, sino que su significado debe enfocarse en mantener el equipo en funcionamiento, asegurando los niveles de producción, calidad y seguridad requeridos. El mantenimiento se enfoca más allá de la tarea de reparar de manera más eficiente, siendo su prioridad la prevención de fallas, evitando compromisos de seguridad y, además, reduciendo las paradas imprevistas que generan altos costos para cualquier Organización ([Torres, 2015](#)).

En los últimos años, la industria hidrocarburífera de Argentina ha experimentado un incremento casi ininterrumpido en su actividad. En el transcurso del período julio-septiembre del año 2022, la producción de hidrocarburos experimentó un notable incremento en comparación con el mismo trimestre del año 2021. Dicho incremento de la producción se confirmó en el informe trimestral de coyuntura energética, que elabora y publica la Secretaría de Energía de la Nación (<https://www.energia.gob.ar/>).

La creciente globalización del sector, los mayores riesgos empresariales, la exigencia por parte de los accionistas de la eficacia de sus inversiones, y los numerosos requisitos de seguridad y respeto medioambiental que afectan tanto los procesos industriales como la sociedad en general, son algunos de los factores que impulsan a las empresas a llevar a cabo una gestión eficiente de sus activos físicos. En el contexto de esta gestión, la propia gestión de la función de Mantenimiento desempeña un papel fundamental.

A partir de estos principios, una compañía productora de gas y petróleo que opera un yacimiento maduro en la cuenca neuquina, se enfoca en la gestión de sus activos físicos en función de las exigencias normativas específicas. En particular se requiere elaborar un

plan de mejora centrado en la disponibilidad operacional de los activos de sus cinco plantas compresoras de gas, identificadas como: PC1, PC2, PC3, PC4 y RCO. En la Figura 1 se presenta, a modo de ejemplo, una imagen las plantas compresoras objeto de análisis. Las estaciones PC1 (propiedad de la productora) y PC3 (planta arrendada a un tercero) integran el mismo proceso en la planta de tratamiento de gas (PTG), a través de la conexión de líneas de succión y descarga.

En la actualidad, el yacimiento está experimentando un período de disminución de la producción, como consecuencia de la baja producción de los pozos de gas. Los equipos de la planta PC1 solo están funcionando parcialmente, ya que tienen una baja disponibilidad operacional. La compresión se basa en el servicio rentado de PC3, el cual tiene un costo significativamente alto para el yacimiento pero con una muy buena performance. A causa de la crítica situación del yacimiento, que además se encuentra en su etapa final de explotación de la concesión, se requiere optimizar el funcionamiento del anillo de compresión de gas.



Figura 1. Planta Compresora PC1.

2. FUNDAMENTACIÓN

El propósito de la ingeniería de mantenimiento es de suma importancia en las empresas operadoras, donde se ha demostrado que la implementación de políticas de mantenimiento adecuadas optimizan los recursos disponibles e incrementan la productividad de las instalaciones.

La propuesta de este proyecto integrador surge conforme a una solicitud del departamento de mantenimiento mecánico de una compañía productora de gas y petróleo, donde planteó su necesidad de elaborar un plan de mejora centrado en la disponibilidad operacional de los equipos Motocompresores (MC) de gas natural pertenecientes a la Planta Compresora Uno (PC1), identificada precedentemente.

A partir de la estrategia de la Organización y los procesos contemplados en la gestión de sus activos físicos, se desarrolló un enfoque estratégico que permita crear valor para la Organización.

Para efectuar las tareas planteadas, se utilizó como punto de partida la información recopilada de los datos históricos de los MC. A partir de esta información, se desarrollaron distintas metodologías prácticas para el análisis contemplando desde la identificación de las detenciones con mayor recurrencia y la causa raíz de las mismas, hasta la confección de posibles acciones de mejora para cada situación. Asimismo, se llevó a cabo un análisis comparativo para evaluar dos opciones de compresión de gas natural en el yacimiento, a saber:

1. Se procede a la compresión de gas a través de la utilización de la flota propia de MC de la planta PC1, y a la cancelación del contrato de compresión externo existente.
2. Debido al servicio satisfactorio que ofrece el Contratista (PC3), deberá darse de baja los equipos propios y continuar con el servicio externo.

Por lo expuesto, este trabajo se centra en la generación de propuestas relativas al funcionamiento y el mantenimiento de los activos, la planificación de nuevas inversiones, el desarrollo de presupuestos y asignación de recursos, a partir del conocimiento del estado y comportamiento de los equipos. Esto permite establecer los temas que se consideran

fundamentales para formar el núcleo de la Gestión de Activos (GA) y de su marco de gestión, como ser:

- Alineación de los activos y de sus operaciones con los objetivos de la Organización.
- Vinculación de la toma de decisiones con la información sobre los activos.
- Valoración del costo del ciclo de vida.
- Gestión de Activos como proceso de negocio.

3. OBJETIVOS

Objetivo General

El presente trabajo, tiene como propósito implementar herramientas e instrumentos avanzados en el marco metodológico de un Sistema de Gestión de Activos (SGA) de una planta compresora de gas, enfocado en el mantenimiento de los equipos MC de gas.

Objetivos Específicos

- Minimizar los riesgos asociados durante todo el ciclo de vida del activo.
 - Prolongar la vida útil y optimizar los costos de gestión.
 - Asegurar la rentabilidad de la provisión del servicio de compresión de gas con equipos propios.
 - Mejorar la disponibilidad operacional del conjunto de MC.
 - Elaborar un plan de mantenimiento para los MC pertenecientes a la planta PC1, alineado con las necesidades de la Organización.
-

4. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los fundamentos teóricos que se consideraron necesarios para abordar el proyecto, en relación al contexto operacional, la Gestión de Activos y el Mantenimiento Industrial.

4.1. Sistema de compresión

- Para el presente proyecto, la planta compresora de gas es una instalación que cumple con la función de tratar el gas natural que ingresa a la misma, de forma tal que este adquiera las condiciones requeridas para su provisión a un tercero (venta). En la misma, se eleva la presión del gas mediante equipos MC, necesarios para su provisión (venta) hasta el punto de entrega. En la Figura 2 se presenta un equipo motocompresor en el cual se indican sus componentes principales.

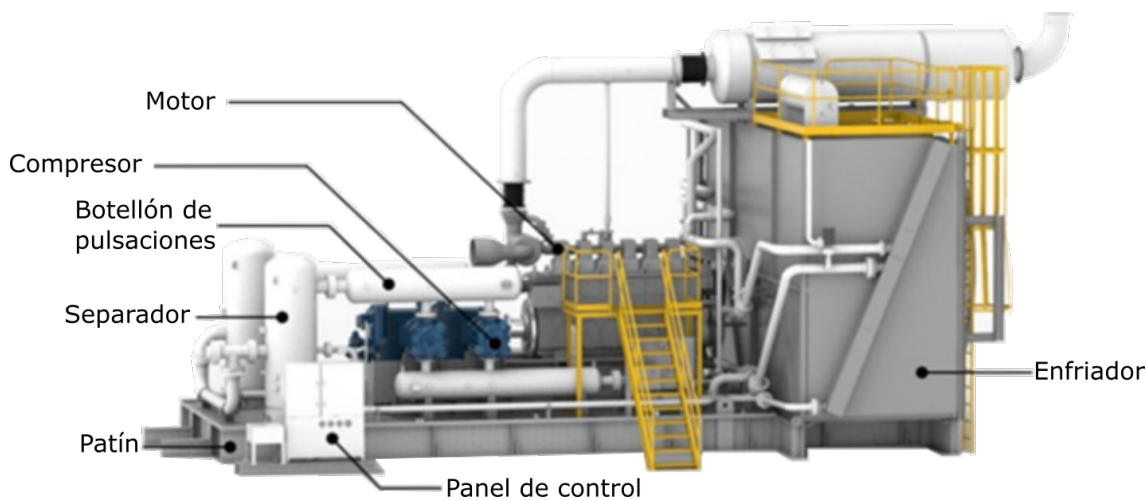


Figura 2. Equipo motocompresor.

En relación a la figura anterior, a continuación, se detallan las principales características de cada uno de los componentes:

- Patín (*skid*): provee el soporte estructural para el compresor, motor y demás componentes.
- Separador: es parte del sistema de eliminación de líquidos de la corriente de gas. Se requiere un separador de líquidos luego de cada etapa de enfriamiento, y previo a cada etapa de compresión.

- Panel de control: dispone del instrumental necesario para la operación y supervisión en forma segura del paquete compresor.
- Botellón de pulsaciones: es un recipiente a presión montado sobre las bridas de entrada (succión) y salida (descarga) de cada cilindro del compresor. El mismo proporciona un volumen adecuado a cada cilindro del compresor, de manera tal de reducir los efectos de las pulsaciones de la corriente de gas.
- Enfriador (*cooler*): es el encargado de bajar la temperatura de la corriente del gas luego de cada etapa de compresión, y de los fluidos auxiliares del paquete compresor. Como por ejemplo, el líquido refrigerante del motor y compresor.
- Motor: en este caso se instala en el sistema uno de combustión interna a gas de la marca Wuakesha, serie 7042 GSI S4 (ver Figura 3), con una potencia nominal de 1480 hp. Estos equipos utilizan el propio gas del yacimiento como combustible.

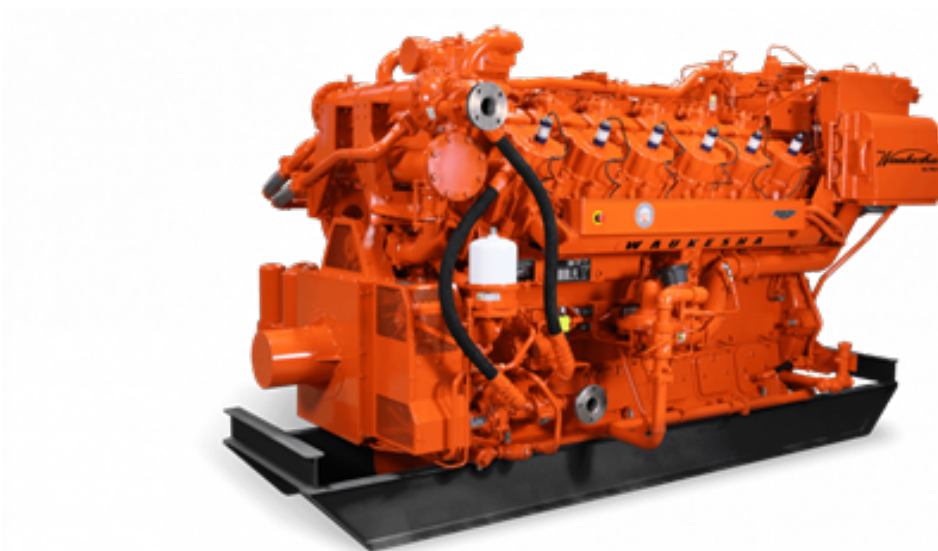
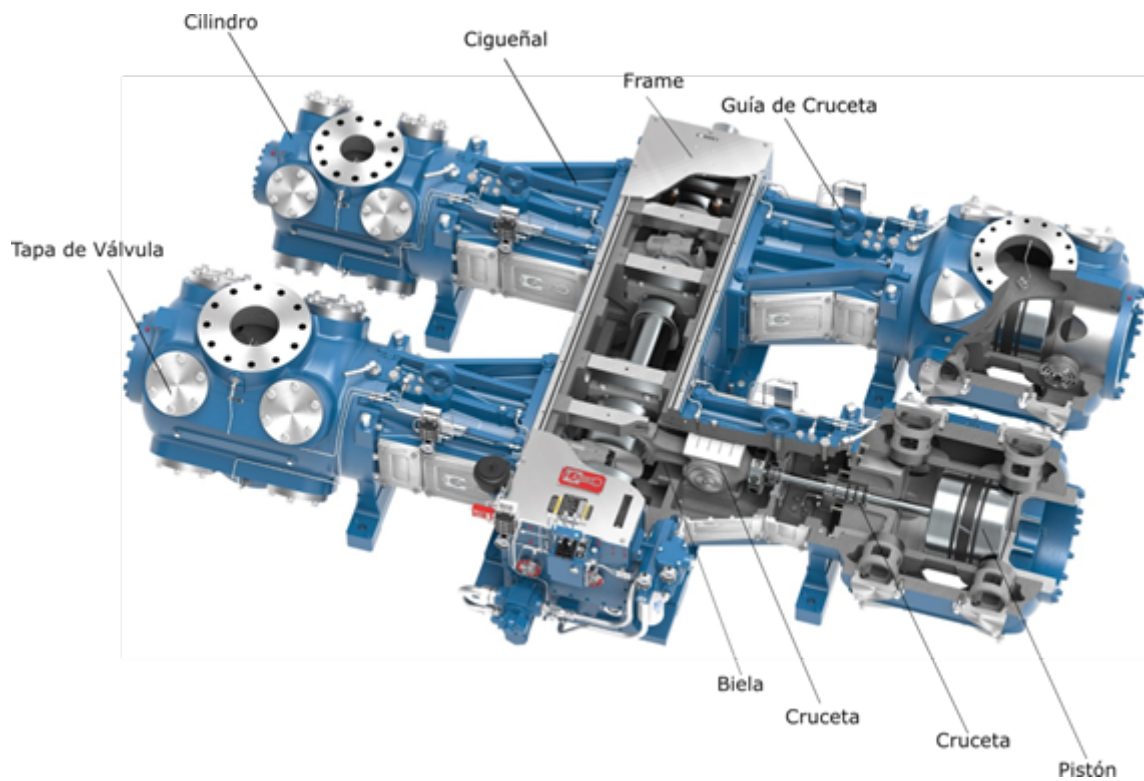
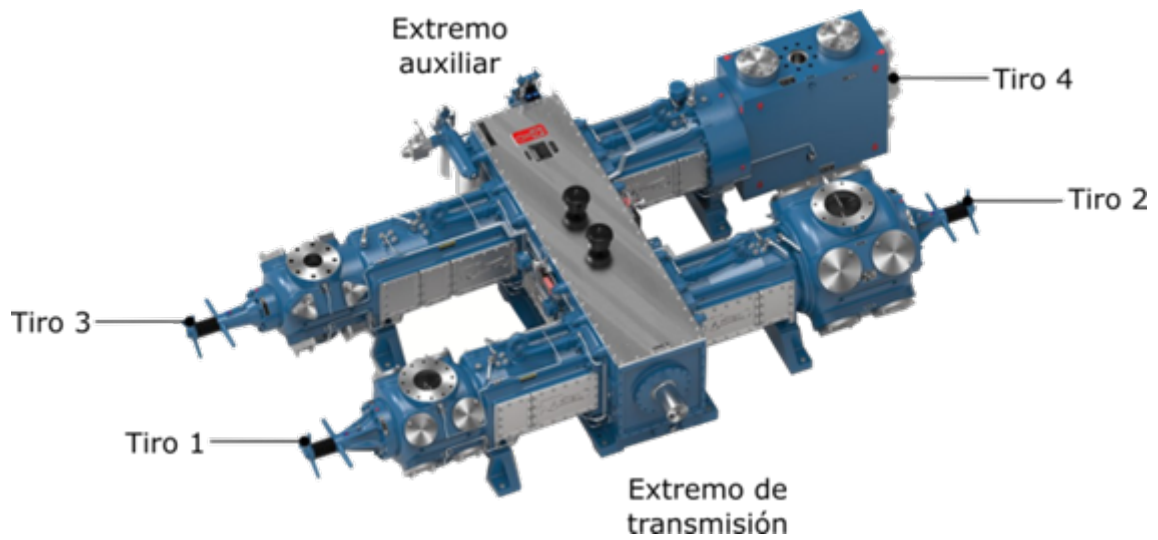


Figura 3. Motor.

- Compresor: son máquinas que tienen por finalidad aportar energía a los fluidos compresibles (gases y vapores) sobre los que operan, para hacerlos fluir aumentando al mismo tiempo su presión. Para este caso son compresores a pistón de doble efecto Marca Ariel, serie JGK de tres etapas y cuatro tiros. Se denomina tiro al conjunto formado por el cilindro del compresor, biela y el conjunto pistón (ver Figuras 4 y 5).



En la Figura 6 se presenta una vista en corte longitudinal del cilindro del compresor, en la que se pueden identificar los siguientes componentes principales:

- Válvulas del compresor: elementos que permiten el ingreso y egreso del gas a la cámara de compresión. Trabajan por diferencia de presión, entre la presión del gas y la fuerza que ejercen los resortes interiores de la válvula. Estos com-

ponentes son los más perjudicados cuando la operación de equipo es incorrecta o ingresa algún agente extraño al cilindro. Los fabricantes suelen brindar información específica sobre los posibles efectos de fallas de las válvulas del compresor durante la operación del equipo.

- Sello: dispositivo que cumple con la función de evitar fugas de gas del cilindro al exterior.
- Pistón: elemento que permite efectuar la compresión del gas, impulsado por el sistema biela manivela que transmite la rotación del cigüeñal.
- Conjunto de aros de pistón: su función principal es evitar el flujo de gas por los laterales del pistón, y de esta forma mantener la presión de la cámara sin pérdidas.

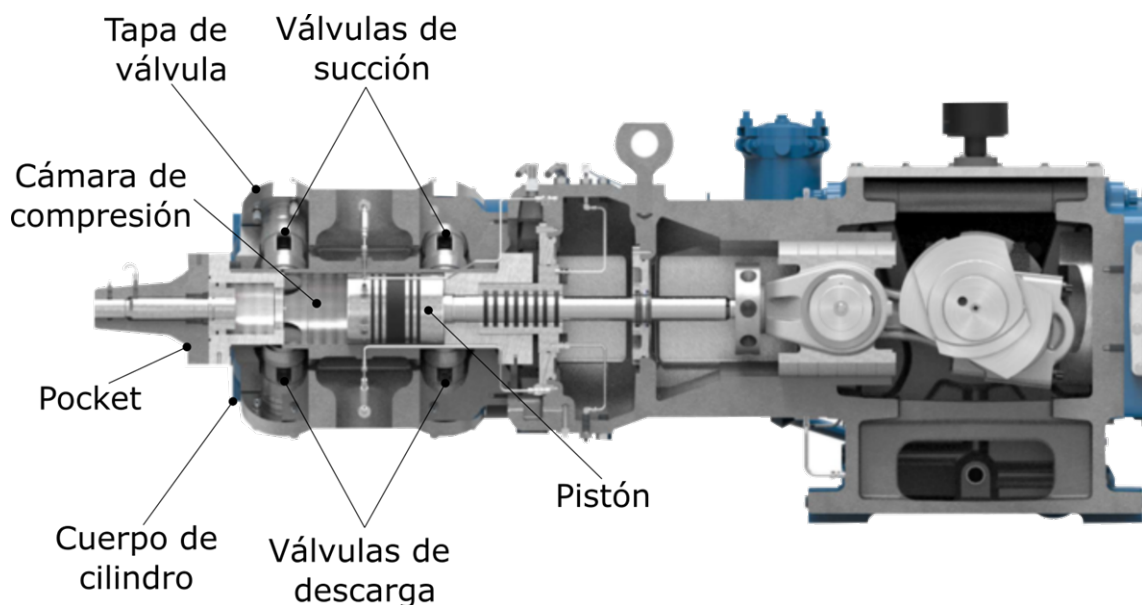


Figura 6. Detalle en corte del cilindro del compresor.

4.2. Gestión de Activos

Las normas de la serie ISO 55000 - *Gestión de Activos* fueron creadas en el año 2015 por la Organización Internacional de Normalización, tomando como punto de partida las Normas BSI PAS 55 - *Asset Management*, con el objetivo de brindar ayuda a las organizaciones para obtener el máximo valor de sus activos, en línea con sus políticas, objetivos,

misión y contexto. De esta forma, las normas mencionadas posibilitan a dichas organizaciones obtener sostenibilidad y el mejor desempeño de sus activos, tanto físicos como no físicos.

Un activo es algo que posee valor potencial o real para una Organización. El valor puede variar entre diferentes organizaciones y sus partes interesadas y puede ser tangible o intangible, financiero o no financiero. Esto quiere decir que un activo, cualquiera sea su naturaleza, se caracteriza por poseer valor para la Organización. Dicho valor, y lo que representa, dependerá de los objetivos organizacionales, la naturaleza y el propósito de la Organización, y las necesidades y expectativas de las partes interesadas. Además, se debe definir la denominada vida del activo, que es el período comprendido desde la generación del activo hasta la disposición final del mismo.

La Organización no necesariamente tiene responsabilidad a lo largo de toda la vida del activo, y de hecho, un activo puede proporcionar valor a más de una Organización a lo largo de su vida, e incluso el valor del activo para una Organización puede cambiar a lo largo de la misma. La correcta gestión de los activos a lo largo del período bajo responsabilidad es fundamental para extraer el máximo valor, en pos de alcanzar los objetivos de la Organización.

Para la Norma [ISO 55000 \(2015\)](#), la GA traduce los objetivos de la Organización en decisiones, planes y actividades, utilizando un enfoque basado en riesgo. A partir de dicha gestión, se definen prácticas coordinadas con las cuales la Organización busca optimizar el desempeño de los activos a lo largo del ciclo de vida, o del período durante el cuál se encuentren bajo responsabilidad de dicha Organización, en busca de obtener el máximo valor a través de los mismos. De esta forma, apoya la obtención de valor mientras balancea los costos financieros, ambientales y sociales, el riesgo, la calidad del servicio y el desempeño relacionado con los activos. Puede cubrir los procesos de diseño, construcción, explotación, mantenimiento, reemplazo y disposición final del activo.

El cuerpo normativo que abarca la GA, se compone de tres normas que se complementan entre sí, las cuales son:

- ISO 55000: *Gestión de Activos - Aspectos generales, principios y terminología* ([ISO 55000, 2015](#)).

Esta norma provee los aspectos generales para la GA, sus principios y terminología

aplicable, los beneficios esperados al adoptar la GA, y también provee el contexto para las Normas ISO 55001 e ISO 55002.

- ISO 55001: *Gestión de Activos - Sistemas de gestión - Requisitos* (ISO 55001, 2015).

Esta norma especifica los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar el Sistema de Gestión de Activos (SGA) dentro del contexto de una Organización.

- ISO 55002: *Gestión de Activos - Directrices para la aplicación de la ISO 55001* (ISO 55002, 2015).

Esta norma proporciona directrices para la implementación de un SGA, de acuerdo a los requisitos que plantea la Norma ISO 55001.

La GA también se considera como un proceso de razonamiento, autoevaluación, de desarrollo de estrategias, objetivos y planes de acción para la implementación y sostenibilidad de los activos, coordinando el conocimiento y las funciones de toda la Organización (Amendola, 2015). Otros autores la definen como la administración sistemática enmarcada en filosofías, métodos y procesos de trabajo para planificar, organizar, dirigir, coordinar, controlar y optimizar el uso de los activos en su ciclo de vida de manera responsable y segura.

De acuerdo a todas las definiciones anteriores, la GA consigue que las organizaciones, de una forma holística y sistemática, generen valor a través de los activos, siendo un apoyo fundamental para lograr los objetivos estratégicos de la Organización.

La Norma ISO 55000 (2015) plantea que la GA se basa en un conjunto de cuatro fundamentos:

- **Valor:** la finalidad de los activos es proporcionar valor a la Organización y a sus partes interesadas, y es por ello que la GA se enfoca en el valor que estos pueden proporcionar, y no en los activos en sí mismos.
 - **Alineación:** la GA traduce los objetivos organizacionales en decisiones, planes, y actividades técnicas, financieras y operacionales, las cuales, en conjunto, posibilitan el cumplimiento de los objetivos antes mencionados.
-

- **Liderazgo:** el liderazgo y el compromiso de todos los niveles gerenciales es fundamental para establecer, operar y mejorar con éxito la GA dentro de una Organización. Es por esto que el liderazgo y la cultura de trabajo de la Organización, son determinantes para la obtención de valor.
- **Aseguramiento:** la GA asegura que los activos cumplirán con su propósito. El aseguramiento aplica a los activos, a la GA y al SGA.

La GA forma parte de la gestión de la Organización, es decir, la gestión del total de la Organización, la cual incluye por ejemplo gestión de recursos humanos, gestión de recursos financieros, gestión de la imagen, entre otros. Es por eso que debe utilizarse un enfoque integrado, que permita que el SGA se construya sobre elementos de sus otros sistemas de gestión.

La Organización utiliza un SGA para dirigir, coordinar y controlar las actividades de la GA. Esto es debido a la necesidad de tener un control del riesgo, y para lograr alcanzar los objetivos de la GA. En la Figura 7 se pueden observar las relaciones entre activos (o cartera de activos), el SGA, la GA y la gestión de la Organización.

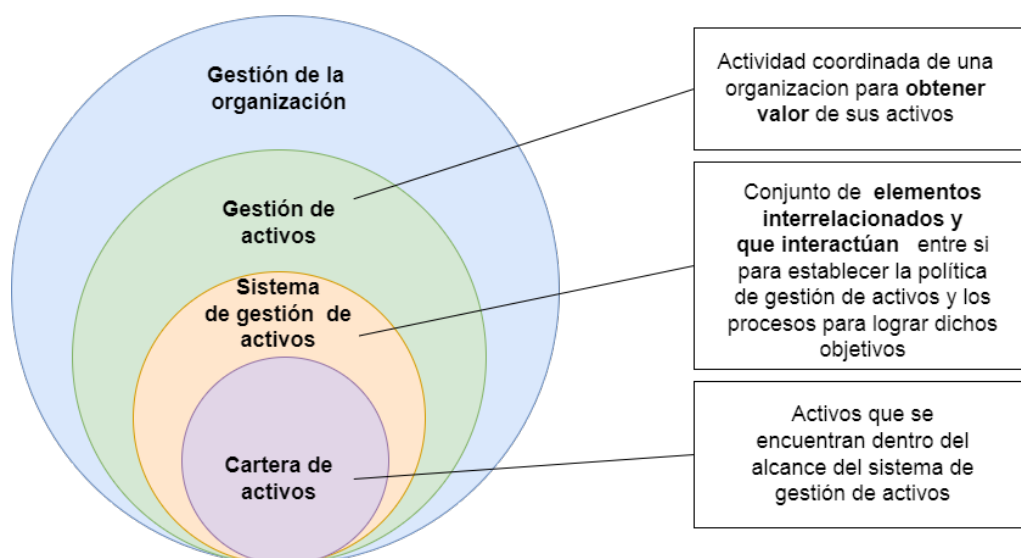


Figura 7. Relación entre los términos clave dados por la Norma ISO 55000 (adaptado de ISO 55000 (2015)).

El SGA es una serie de elementos conectados entre sí, los cuales interactúan dentro de una Organización, teniendo como finalidad establecer los objetivos de la política de GA y las actividades necesarias para conseguir dichos objetivos a través de las diferentes etapas

del ciclo de vida de los activos. La implementación de un SGA permitirá a la Organización profundizar los conocimientos acerca de sus activos, los riesgos asociados al gestionarlos, y el aporte de los mismos para la toma de decisión y la planificación organizacional.

El SGA debe buscar extender el ciclo de vida del activo tanto como sea posible, considerando los riesgos, los costos y las oportunidades asociados a los mismos con el objetivo de alcanzar los rendimientos especificados por la Organización, siempre contemplando que se lleve a cabo de manera responsable, socialmente beneficiosa y ambientalmente responsable.

Para establecer y definir un SGA, se requiere una comprensión profunda de cada uno de sus elementos, y de las políticas, planes y procedimientos que lo integran. La Norma [ISO 55000 \(2015\)](#) plantea una serie de requisitos para un SGA. Estos se encuentran descritos en la Norma [ISO 55001 \(2015\)](#), y son los que se detallan a continuación:

- **Contexto de la Organización:** al establecer el SGA, una Organización debe tener en cuenta sus contextos internos y externos. Su influencia es clave para el establecimiento de reglas para la toma de decisiones, y de objetivos de la Organización, que a su vez influyen en el diseño y el alcance del SGA.
 - **Liderazgo:** la alta dirección es responsable del desarrollo de las políticas y de los objetivos de la GA, y de la alineación de los mismos con los objetivos de la Organización, y con otros sistemas de gestión dentro de la Organización. Además, es responsable de proveer y asegurar los recursos adecuados para apoyar el SGA.
 - **Planificación:** los objetivos estratégicos de la Organización proporcionan el contexto general y la dirección de las actividades de la Organización, incluyendo las actividades de GA. Los principios a través de los cuales se proponen aplicar la GA deben plantearse en la política de GA, y la forma de implementar estos principios debería documentarse en un plan estratégico de GA. Este plan debe utilizarse para guiar los objetivos de la Organización, y para definir el rol del SGA para lograr dichos objetivos.
 - **Apoyo:** para la implementación y uso del SGA, se requerirá la colaboración de distintas áreas de la Organización. Esta colaboración a menudo implica el uso com-
-

partido de recursos, y por consiguiente, la coordinación de recursos y la aplicación, verificación y mejora de su uso, deben ser objetivos del SGA.

- **Operación:** el SGA permite la dirección, ejecución y control de las actividades de GA. Debe incluir las políticas funcionales, las normas técnicas, los planes y los procesos para la implementación de los planes de GA. La gestión del cambio es una consideración importante al operar el SGA.
- **Evaluación del desempeño:** la Organización debe evaluar el desempeño de sus activos, de la GA y de su SGA. Las medidas de desempeño pueden ser directas o indirectas, financieras o no financieras. La gestión eficaz de los datos de activos es fundamental para lograr una correcta medición del desempeño de los activos.
- **Mejora:** el SGA debe hallarse en constante evolución, en función de que varíen el contexto, los objetivos de la Organización y el portafolio de activos. La mejora continua es un concepto que debe aplicarse a los activos, a las actividades de GA y al SGA. Las oportunidades de mejora pueden determinarse a través de la evaluación del desempeño de activos, de la GA y del SGA. Los incidentes o situaciones de emergencia relacionadas con los activos son muy importantes, por lo que el SGA debería considerar un plan de respuesta ante emergencias.

La GA, según lo que destacan varias fuentes, proporciona diversos beneficios al aplicarse a una Organización. En particular, dentro de los que destaca la Norma [ISO 55000 \(2015\)](#), se pueden mencionar los siguientes:

- **Mejora del desempeño financiero**, debido a una mejora del retorno sobre la inversión y la reducción de costos relacionados a los activos.
 - **Riesgo gestionado**, al asegurar el desempeño de los activos.
 - **Demostración de cumplimiento**, al ajustarse de forma transparente a los requisitos legales y regulatorios, como así también adherirse a procesos, políticas y normas de GA.
 - **Mejora de la reputación**, a partir de la mejora en la satisfacción del cliente, la conciencia y la confianza de las partes interesadas.
-

- **Mejora de la eficiencia y la eficacia**, como resultado de la revisión y mejora de los procesos, los procedimientos y el desempeño de los activos.

4.3. Mantenimiento Industrial

En las últimas décadas, el mantenimiento en la industria moderna ha experimentado una serie de profundas transformaciones a nivel tecnológico, económico, social, organizacional, cultural y humano. Estos cambios emergen a partir de la actual competitividad de los negocios y la globalización de los mercados. Frente a este panorama un sistema integral de gestión de mantenimiento, representa la única vía efectiva que permite a las organizaciones, enfrentar de forma eficiente los retos constantes a los cuales están sometidas hoy en día.

El propósito del mantenimiento debe ser estudiar, analizar y proponer, en un proceso de mejora continua, las soluciones que aseguren la máxima confiabilidad, la mayor vida útil, y el mayor valor de los activos con los que se trabaja. Para esto, es importante disminuir la cantidad y la severidad de ocurrencia de fallas, teniendo en cuenta que la falla de un ítem es la pérdida de la capacidad de realizar lo requerido ([ISO 14224, 2016](#)).

El mantenimiento en cada uno de los niveles de su estructura organizativa debe aportar estrategias de mejoramiento, a partir del diagnóstico y análisis de las oportunidades para la optimización de costos y la evaluación del impacto del mantenimiento, en sus cuatro áreas fundamentales ([Amendola, 2015](#)):

1. Capacidad de Producción:

- Mejora de la productividad de la planta.
- Aumento de la capacidad de los equipos.

2. Costos de Producción:

- Reducción de tiempos de mantenimiento.
- Reducción de los tiempos de paradas.

3. Seguridad Industrial y personal:

- Reducción de fallas críticas y catastróficas.
-

- Mayor seguridad del personal.

4. Satisfacción de los Clientes:

- Cumplimiento de las entregas.
- Alta calidad de los productos.

Existen diversas filosofías de mantenimiento, y muchas veces es difícil establecer fronteras entre las mismas, debido a que existen diferencias entre lo que plantean distintos autores. A menudo se diferencian cuatro filosofías básicas de mantenimiento, a saber: correctivo, preventivo, predictivo y proactivo, las cuales se definen a continuación.

4.3.1. Mantenimiento Correctivo

También denominado Mantenimiento Basado en la Rotura (MBR), consiste en la reparación de averías a medida que van apareciendo (Pistarelli, 2012). La lógica de esta filosofía es simple y directa, “si no se rompe, no se repara”. Este método ha sido una parte importante de las operaciones de mantenimiento desde los inicios de las plantas industriales. De esta forma, no se gasta dinero en mantenimiento hasta que una máquina o sistema falla en operación. MBR es una técnica de gestión reactiva que espera por la falla de la máquina o equipo antes de tomar cualquier acción de mantenimiento. Este es el método de gestión de mantenimiento más costoso (Mobley, 2004). Independientemente de lo señalado, el mantenimiento correctivo estará presente en todo tipo de gestión de mantenimiento, ya que siempre se necesitarán reparaciones.

En relación a este tipo de gestión de mantenimiento, se deben considerar entre otros, los altos costos de almacenamiento de repuestos y mano de obra por pago de horas extra, elevados tiempos de inactividad de máquinas, equipos y operarios, reducción de vida útil de equipos, con la consecuente depreciación de los activos, y baja disponibilidad de producción.

En síntesis se puede afirmar que la gestión de mantenimiento reactivo trae aparejado un elevado costo, y una baja disponibilidad de equipos. El análisis de los costos de mantenimiento indica que una reparación realizada de modo reactivo o MBR tendrá un costo promedio aproximado tres veces mayor que la misma reparación realizada de modo

programado o preventivo (Moblely, 2004). Realizar intervenciones programadas permite minimizar tiempos de reparación, evitando una serie de tiempos asociados, como los de detección, de diagnóstico y de espera. Además, se reducen costos de mano de obra asociados a reparaciones no programadas, evitando también pérdidas de producción.

4.3.2. Mantenimiento Preventivo

Consiste en reparar un equipo o reemplazar sus componentes en forma periódica, sin importar su estado o condición. En otras palabras, las tareas de mantenimiento se basan en lapsos de tiempo de operación. La Figura 8, muestra un ejemplo típico de distribución del número de fallas de máquinas en el tiempo, representada comúnmente por la conocida Curva de Davies o de la bañera. El tiempo medio a la falla, o *Mean Time To Failure* (MTTF), indica que una máquina nueva tiene una alta probabilidad de falla durante las primeras semanas de operación, debido a problemas de manufactura o de instalación. Después de este período inicial, la probabilidad de falla es relativamente baja por un período de tiempo extendido. Una vez cumplido el período de vida normal de la máquina, la probabilidad de falla se incrementa rápidamente a medida que transcurre el tiempo. En la gestión de mantenimiento preventivo, las reparaciones se programan en base a la estadística del MTTF.

La implementación del mantenimiento preventivo se realiza de diferentes maneras. Algunos programas son más limitados, y consisten en lubricación y ajustes menores. Otros programas de mantenimiento preventivo más completos incluyen lubricación, reparaciones programadas, ajustes y *overhauls*. Todos los programas de gestión de mantenimiento preventivos utilizan la premisa de programar las intervenciones a intervalos predeterminados de tiempo, de acuerdo a criterios preestablecidos, tendientes a reducir la probabilidad de falla. Dichos programas asumen que las máquinas o equipos sufrirán degradación típica con el paso del tiempo.

Este enfoque presenta un inconveniente, ya que el modo de operación y sus distintas variables afectan directamente la vida operativa normal de la maquinaria. Debido a esto, el tiempo medio entre fallas, o *Mean Time Between Failures* (MTBF) no será el mismo para dos equipos idénticos, operando bajo condiciones diferentes. El uso de MTBF estadísticos para programar las tareas de mantenimiento puede generar reparaciones innecesarias

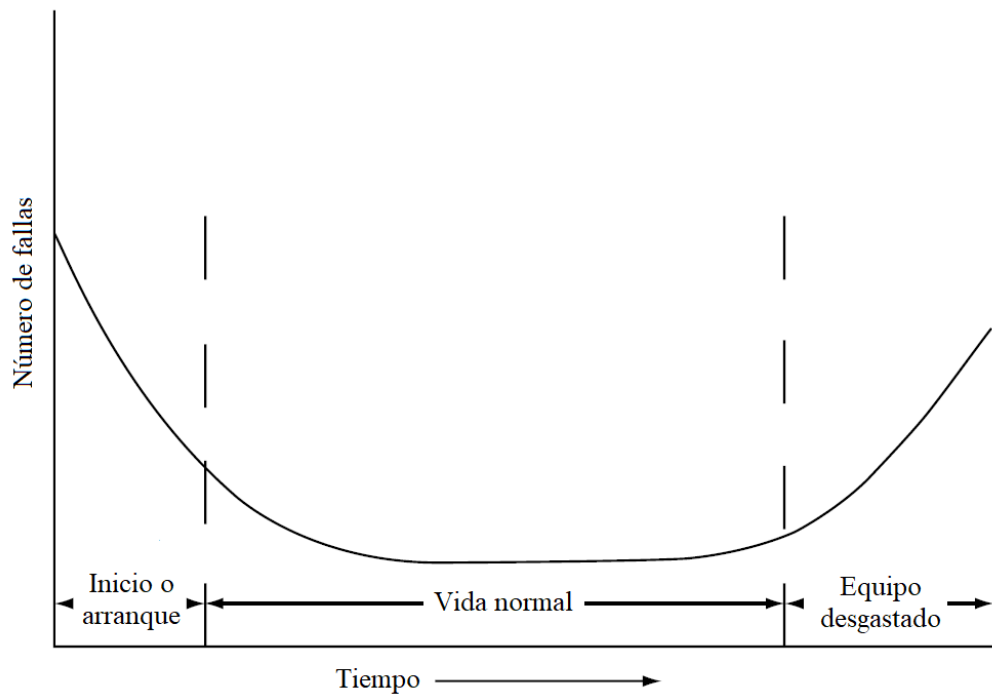


Figura 8. Curva de Davies o de la bañera.

o fallas catastróficas, lo que da como resultado equipos reemplazados sin ser necesario o equipos que fallan y generan pérdidas de producción, situaciones en ambos casos indeseables. Es por ello que [Pistarelli \(2012\)](#) plantea que para aplicar un modelo de gestión de mantenimiento preventivo eficaz, es necesario que se cumplan algunas condiciones mínimas:

- Los ítems a intervenir tienen un período de vida útil conocido a partir del cual se presenta un rápido crecimiento del MTBF.
- La vida útil para todos los componentes iguales es muy parecida (baja dispersión).
- La mayoría de los elementos probados se mantienen sin fallas durante su vida útil.
- La intervención reestablece totalmente la condición básica del ítem.

Los objetivos fundamentales del mantenimiento preventivo son:

- Aumentar la disponibilidad de los equipos a través de la disminución de detenciones no programadas.
- Minimizar las averías imprevistas de los equipos.

- Mejorar el aprovechamiento de mano de obra por medio de la programación de tareas.
- Mejorar la calidad de productos y servicios.
- Disminuir el riesgo para el personal en las operaciones de producción y mantenimiento.
- Minimizar los gastos debido a reparaciones de emergencia.

4.3.3. Mantenimiento Predictivo

La premisa del mantenimiento predictivo es el monitoreo regular de la condición de los equipos para asegurar el máximo intervalo de tiempo entre reparaciones, y minimizar el número y el costo de paradas inesperadas por fallas en los equipos. Se puede decir que el mantenimiento predictivo es una filosofía que, en pocas palabras, utiliza las condiciones operativas reales de los equipos y sistemas de una planta para optimizar la operación total. Un programa de gestión de mantenimiento predictivo completo, utiliza una combinación de las herramientas más rentables de monitoreo de condición (como son, por ejemplo: medición de vibraciones, termografía, tribología, ultrasonido, etc.), para conocer la condición operativa real de los equipos o sistemas de la planta, y basado en esa información real, programa todas las actividades de mantenimiento según sea necesario.

En lugar de basarse en estadísticas de vida media de equipos de la industria o de la propia planta para programar las actividades de mantenimiento, el mantenimiento predictivo usa el monitoreo directo de la condición de los equipos para determinar el MTTF real, o la pérdida de eficiencia para cada tren de máquinas y sistema en la planta, con el objetivo de no permitir que la falla sintomática irreversible evolucione en una falla funcional. Esto proporciona la capacidad para optimizar la disponibilidad de la maquinaria y reducir en gran medida los costos de mantenimiento ([Moblely, 2004](#)).

Un programa de mantenimiento predictivo puede minimizar las paradas no programadas de todos los equipos mecánicos en la planta, y asegurar que las reparaciones mecánicas se realicen en condición aceptable. Además, puede identificar problemas en máquinas antes de que se conviertan en serios, permitiendo predecir el tiempo hasta la aparición

de la falla funcional. La mayoría de los problemas mecánicos pueden minimizarse si son identificados y reparados a tiempo.

En síntesis puede afirmarse, que las herramientas de mantenimiento predictivo brindan información al encargado de mantenimiento, el cual utiliza estos datos, en conjunto con su propia experiencia, y/o sistemas de toma de decisión, para programar las actividades de mantenimiento.

4.3.4. Mantenimiento Proactivo

Surge como alternativa para anticiparse a una falla sintomática irreversible que luego se transforma en una falla funcional, y lograr revertir la situación. Es un método tendiente a mejorar la disponibilidad de los equipos, con modificaciones y soluciones técnicas diversas.

Es muy difícil definir con precisión el límite entre el mantenimiento predictivo, y el mantenimiento proactivo, ya que ambos buscan identificar fallas sintomáticas en forma prematura. La diferencia principal radica en el carácter de reversibilidad o irreversibilidad que le confieren a las fallas sintomáticas. En el caso del mantenimiento proactivo, la detección de la falla sintomática ocurre con mayor anticipación, lo que permite tomar acciones para desviar la tendencia natural hacia la falla funcional, y evitar en muchos casos la ocurrencia de la misma.

El mantenimiento proactivo presenta beneficios en su aplicación como son, la posibilidad de analizar la evolución de una falla sintomática reversible (prácticamente desde la aparición de la causa raíz), la provisión de información para actuar sobre las causas de las fallas, y la reducción de gastos provocados por fallas sintomáticas irreversibles. Además, es importante destacar que las herramientas que incorpora el mantenimiento proactivo ofrecen un panorama muy definido del estado de los componentes de equipos, lo que permite decidir el momento más oportuno para su reemplazo o reparación, optimizando en muchas ocasiones el intervalo entre dos intervenciones preventivas.

Algunas herramientas del mantenimiento proactivo que se destacan son el análisis físico-químico de lubricantes, el recuento de partículas contaminantes, la verificación de metales y aleaciones, alineación y balanceo, seguimiento de niveles térmicos, y estudios de amperaje, entre otros.

4.4. Relación entre Gestión de Activos y Gestión de Mantenimiento

La Gestión de Activos Físicos y la Gestión de Mantenimiento son dos actividades interdependientes que interactúan continuamente dentro de las organizaciones. Es por esto que muchas veces se llegan a confundir sus funciones, pensando que son las mismas.

Una Organización necesita que sus Activos Físicos se desempeñen de manera confiable, en pos de alcanzar los objetivos estratégicos. Un activo confiable es aquel que cumple sus funciones cuando se lo requiere y en su correcto contexto operacional.

La confiabilidad de Activos Físicos debe ser primero construida, y luego sostenida durante todo el ciclo de vida. La construcción comienza en la primera fase del ciclo de vida del activo, con la planificación, diseño y adquisición del mismo. Todas las decisiones que se tomen en estos procesos tendrán repercusión en el desempeño y confiabilidad del activo durante todo su ciclo de vida. Luego, para sostener la confiabilidad, son fundamentales la operación y el mantenimiento, ya que en función a cómo los activos sean operados y mantenidos se determinará cómo se verá afectada la confiabilidad.

La Gestión de Activos Físicos gestiona todo el ciclo de vida de los activos, desde la planificación hasta la disposición final de los mismos. Se encarga de planificar y controlar todo lo referido a los activos, diseñando los planes estratégicos bajo los cuáles operará la Organización, definiendo políticas, procedimientos, organizando y asignando roles y responsabilidades respecto al uso, manejo y aprovechamiento de los mismos.

En cambio, la Gestión de Mantenimiento es responsable de asegurar la disponibilidad y confiabilidad de los activos, de manera alineada con los objetivos de la Organización, cumpliendo con requisitos de calidad, seguridad y medio ambiente. Se encarga de establecer las tareas de mantenimiento sobre Activos Físicos, programando las actividades y controlando la correcta ejecución. Entonces, en conclusión, el SGM forma parte del SGA Físicos.

4.5. Datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos

Para aplicar eficazmente un sistema de gestión, sin importar del tipo que se trate, es fundamental que existan datos adecuados para realizar una correcta evaluación de desempeño del mismo, en pos de buscar la mejora continua. Para esto, la recopilación y

estructuración de los datos debe ser sistemática, ordenada y bajo un único criterio claramente definido. Esto permite obtener indicadores de calidad del sistema de gestión, y en particular, en el SGM posibilita determinar la confiabilidad de distintos equipos, lo que ayuda a realizar una correcta evaluación de desempeño del mismo.

La Norma [ISO 14224 \(2016\)](#) proporciona una base sólida para la recopilación y estructuración de los datos de confiabilidad y mantenimiento para equipos relacionados a la industria de petróleo, petroquímica y gas natural. Estos datos son fundamentales para la GA durante su ciclo de vida, y en particular, para la gestión de mantenimiento de los mismos.

Si bien la disponibilidad operativa de instalaciones industriales ha ido mejorando a lo largo del tiempo, continúan observándose pérdidas en la producción, y aumentos en los costos de mantenimiento debido a la baja confiabilidad de equipos, lo que representa un elevado costo. Analizar las causas de los eventos de falla es fundamental para implementar acciones en vista de mejorar la disponibilidad de equipos, lo que trae consigo mejoras en la rentabilidad y la seguridad.

Los beneficios del análisis de datos de confiabilidad son muchos, incluyendo la oportunidad de optimizar los intervalos entre las inspecciones y revisiones de equipos, el contenido de los procedimientos de mantenimiento, mejoras en la toma de decisiones, reducciones de fallas severas, menores impactos ambientales, mayor seguridad para el personal operativo y, fundamentalmente, una mayor disponibilidad de los equipos.

En gran parte, la mejora de la confiabilidad de equipos depende de las experiencias de uso de los mismos. Es por ello que la recolección, análisis y retroalimentación de los datos de funcionamiento son muy importantes para los diseñadores y fabricantes de equipos.

La norma indicada ([ISO 14224, 2016](#)), en uno de sus apartados desarrolla extensamente el tema de la calidad de los datos. Define las características que deben poseer los datos de calidad (integridad, tipos de datos, formatos, almacenamiento, población y período de vigilancia suficiente, relevancia, etc.), ya que la confianza de los mismos, y cualquier análisis que surja de ellos, depende fuertemente de la calidad de los datos recolectados. Además, la norma brinda pautas para la planificación del proceso de recolección de datos, y para verificar la calidad de los mismos, presentando algunos de los problemas y limitaciones que se deben tener en cuenta cuando se busca obtener datos de calidad. También se

desarrolla el proceso de recolección de datos, analizando puntos importantes del proceso como fuentes de datos, métodos típicos de recolección, y Organización y capacitación de personal para la recolección.

Otro apartado relevante de esta norma, es el que trata sobre límites de equipos, taxonomía y definiciones de tiempos. En este punto, en primer lugar se expone la importancia de una clara descripción de los límites de los equipos, en pos de facilitar la comunicación entre operadores y fabricantes de los mismos, buscando la compatibilidad de datos, evitando la superposición entre diferentes clases de equipos. Luego, se define la taxonomía como la clasificación sistemática de activos dentro de un contexto funcional, basada en factores comunes (como ubicación, uso, características), y representada en una jerarquía. De esta forma, se presenta en la Figura 9 una guía para la implementación de la taxonomía propuesta por la Norma [ISO 14224 \(2016\)](#). Los niveles 1 al 5 representan niveles de categorización en relación a la aplicación en la industria y en las plantas. En cambio, a partir del nivel 6 y hasta el 9, la relación es con el equipo. El número de niveles de subdivisión depende de la complejidad del equipo y el uso de los datos.

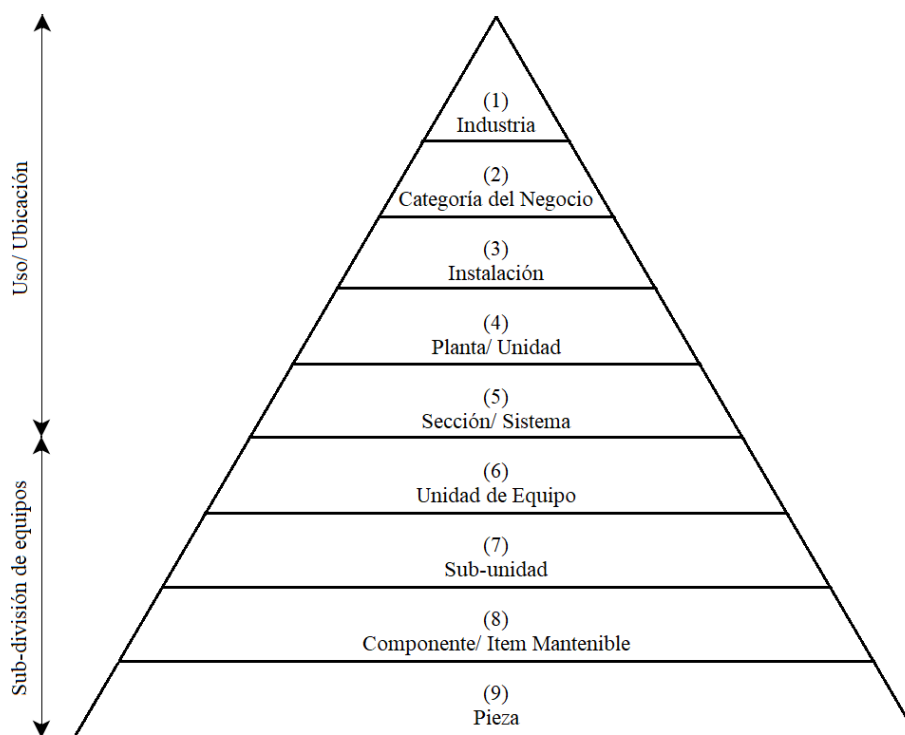


Figura 9. Clasificación de la Taxonomía con niveles taxonómicos ([ISO 14224, 2016](#)).

La Norma [ISO 14224 \(2016\)](#) plantea que para los análisis de disponibilidad, posiblemente los únicos datos requeridos sea la confiabilidad a nivel de equipo, mientras que un análisis de RCM (en inglés, Reliability-Centered Maintenance) y/o de causa raíz puede requerir datos acerca del mecanismo de falla a nivel de componente/ítem mantenible. Es posible que muchos ítems queden definidos en diferentes niveles de la jerarquía taxonómica, y esto dependerá del contexto o el tamaño del ítem.

En el mismo apartado se trata el tema de línea de tiempo, en donde se definen y desarrollan los diferentes períodos considerados, diferenciando en primer lugar tiempo de parada, y tiempo activo. En el primero se incluye el tiempo de parada planificado (donde se encuentran el mantenimiento preventivo y otras interrupciones planeadas) y el no planificado (donde se incluye el mantenimiento correctivo y otras interrupciones no planeadas). Por otro lado, dentro del tiempo activo se distingue entre tiempo operativo (incluye detención, puesta en marcha, marcha, espera en caliente) y tiempo no operativo (incluye tiempo inactivo, espera en frío).

Los datos se pueden registrar durante todo el ciclo de vida del equipo o en intervalos más acotados (siendo común el segundo caso debido a los costos). Considerando que la mayoría de los ítems siguen la línea de tiempo conocida como Curva de la Bañera (ver [Figura 8](#)), cuando sólo se requieren datos para la parte operativa del estado estacionario de un ítem, la recolección de datos comenzará luego de que finalice el período de arranque. Por el contrario, si se busca obtener datos relacionados a la fallas de arranque, será útil comenzar la recolección de datos desde el momento de puesta en marcha. Es por esto que la duración del período de recolección de datos puede ser muy distinta entre los equipos.

Para realizar el registro de los períodos de tiempo durante el mantenimiento, se recomienda focalizar principalmente en dos, el tiempo de parada y el tiempo activo de reparación, los cuales se muestran en la [Figura 10](#). El primero, incluye el tiempo transcurrido desde el momento en que el equipo entra en estado de parada (debido a una reparación) hasta que esté operativo para la función requerida. El segundo es el tiempo que transcurre mientras el trabajo de mantenimiento se realiza realmente, e incluye el tiempo activo de reparación y el retraso técnico.

En el último apartado de la Norma [ISO 14224 \(2016\)](#), se desarrolla extensamente el tema de los datos recomendados para equipos, fallas y mantenimiento. En primer lugar se

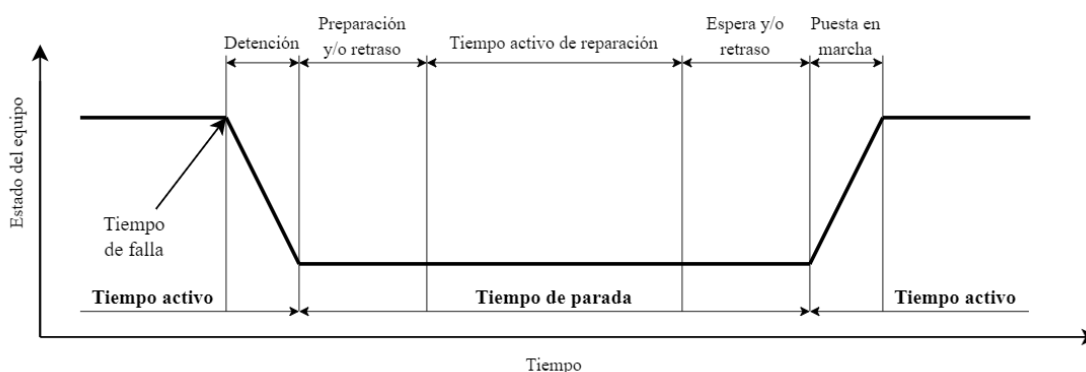


Figura 10. Tiempos de Mantenimiento dados por la Norma ISO 14224 (adaptado de [ISO 14224 \(2016\)](#)).

categorizan los datos, con la finalidad de presentar una manera organizada y estructurada de recolectar los mismos. De esta forma, se definen tres categorías:

- **Datos de equipo:** se incluyen parámetros técnicos, operacionales y medioambientales. Algunos datos son comunes para varias clases de equipos, y otros son específicos para una clase de equipo en particular. La norma establece un mínimo de datos a recolectar y plantea algunos adicionales optativos, los cuales se encuentran en tablas. Adicionalmente se presentan algunos ejemplos en los anexos de la misma.
- **Datos de falla:** para combinar datos de diferentes fuentes, ya sean distintos equipos, distintos sectores, o distintas plantas, es fundamental contar con una definición uniforme de falla y con un método de clasificación de fallas. Para esto, la Norma [ISO 14224 \(2016\)](#) propone una tabla donde se presenta un informe común de datos de fallas.
- **Datos de mantenimiento:** se debe realizar un informe común para todas las clases de equipo, donde se detallen datos estipulados por la Norma [ISO 14224 \(2016\)](#). Dentro de los datos mencionados, hay algunos que son mínimos y obligatorios (como: fecha de mantenimiento, categoría de mantenimiento, identificación/ubicación del equipo, etc.), y otros que si bien son deseables, son opcionales (como: prioridad de mantenimiento, impacto en la planta, ubicación de repuestos, etc.).

Se puede decir que la Norma [ISO 14224 \(2016\)](#) a través de recomendaciones para recolección de datos, estandarización de tiempo y actividades, y del modelamiento de activos

(taxonomía, modos de falla, atributos), indica cómo obtener la información de mantenimiento y confiabilidad, que es una parte reducida de todo lo que abarca la Norma [ISO 55000 \(2015\)](#) en cuanto a GA, por lo que la Norma [ISO 14224 \(2016\)](#) es complementaria a la [ISO 55000 \(2015\)](#).

4.6. Gestión del Riesgo

La Norma Internacional [ISO 31000 \(2018\)](#): Gestión del riesgo - Directrices, define a la gestión del riesgo como *actividades coordinadas para dirigir y controlar la Organización con relación al riesgo* ([ISO 31000, 2018](#)). Para poder comprender esta definición, es necesario saber cuál es el concepto de riesgo que se emplea. Para ello, se toma de dicha norma la definición de riesgo, que es *el efecto de la incertidumbre sobre los objetivos* ([ISO 31000, 2018](#)). De esta manera, se puede comprender a la gestión del riesgo como el conjunto de actividades coordinadas que desarrolla una Organización para intentar controlar, dirigir y anticiparse a las incertidumbres que pudieran ocurrir respecto a los objetivos establecidos.

Muchas veces los riesgos están asociados a eventos potenciales con consecuencias y probabilidades de ocurrencia de los mismos. Estas consecuencias pueden afectar a la actividad que desarrolla la Organización desde el punto de vista productivo, económico, a la vida humana, al medio ambiente, al equipamiento, a la imagen empresarial, etc. Es por ello que es de suma importancia poder mantener controlado el riesgo en la actividad que se desarrolla, gestionándolo de manera conveniente.

El propósito de la gestión del riesgo es la creación y la protección del valor, para mejorar el desempeño, fomentar la innovación y contribuir al logro de los objetivos organizacionales. Para que esto sea posible, la gestión debe ser eficiente y eficaz en la creación y protección del valor. Podemos asegurar que esto se logrará, si se consigue que la gestión del riesgo sea integrada, abarcando todas las actividades de la Organización; estructurada y exhaustiva, para conseguir resultados coherentes y comparables; además de ser inclusiva y adaptada, haciendo partícipe a las partes interesadas oportunamente, sin perder de vista el contexto interno y externo de la Organización. Considerando que los contextos son cambiantes en el tiempo, para que la gestión tenga éxito debe ser además dinámica, adaptándose a los cambios que surgen, sin olvidarse de contemplar los factores huma-

nos y culturales. Cualquier gestión en sistemas dinámicos tiene que tener la capacidad de aprender de su propia experiencia, buscando alcanzar la mejora continua del mismo. Si se consigue integrar todos estos factores en la gestión del riesgo se puede asegurar que la misma será efectiva y alineada con los objetivos de la Organización.

El proceso de la gestión del riesgo implica la aplicación sistemática de políticas, procedimientos y prácticas a las actividades de comunicación y consulta, establecimiento del contexto y evaluación, tratamiento, seguimiento, revisión, registro e informe del riesgo (ISO 31000, 2018). Las vinculaciones entre todas estas actividades se pueden esquematizar como se muestra en la Figura 11.

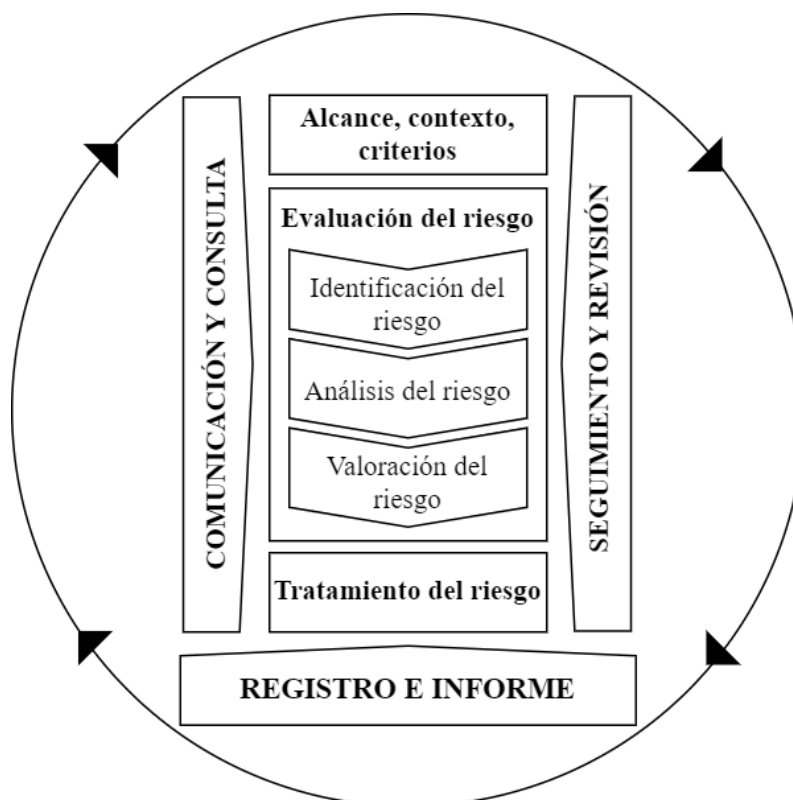


Figura 11. Vinculación entre actividades en la Gestión del Riesgo (adaptado de ISO 31000 (2018)).

- **Comunicación y consulta:** el objetivo de la comunicación es promover la toma de conciencia y la comprensión del riesgo al que se está expuesto en la actividad que se está desarrollando, mientras que la consulta busca obtener información y retroalimentación para apoyar la toma de decisiones.

- **Alcance, contexto y criterios:** lo primero que se debe hacer para la gestión del riesgo es establecer el alcance de sus actividades, a qué nivel se va a aplicar, cuáles van a ser sus objetivos pertinentes y su alineamiento con los objetivos de la Organización. Además, se debe tener acabado conocimiento tanto del contexto interno como el externo, ya que estos pueden ser fuentes de riesgos para la Organización. Por último se deben establecer los criterios para valorar la importancias de los riesgos para apoyar los procesos de toma de decisiones. Estos criterios deben estar alineados con el marco de referencia de la gestión del riesgo y adaptados al alcance y propósito de la actividad en consideración.
- **Evaluación de riesgo:** se trata de un proceso global que incluye la identificación del riesgo, el análisis del riesgo y la valoración del mismo. Estas actividades deberían llevarse de manera sistemática, iterativa y colaborativa, siempre basándose en el conocimiento y la mejor información disponible, complementándose con investigaciones adicionales en caso de ser necesario.

En la identificación del riesgo se trata de encontrar, reconocer y describir los riesgos que pueden impedir o ayudar a una Organización a alcanzar sus objetivos. Para ello, siempre es importante contar con información pertinente y actualizada. Se debe considerar la relación que puede existir entre riesgos, y cómo afectan a uno o varios objetivos. Además, se debe poder identificar si se tratan de fuentes internas o externas las que generan estos riesgos, y las consecuencias tangibles o intangibles que pueden producir.

El análisis de riesgo se ejecuta para comprender la naturaleza del mismo. Esto implica una consideración detallada de incertidumbres, fuentes de riesgo, probabilidades, consecuencias, escenarios, eventos, controles y eficacia. Los eventos de alta incertidumbre pueden ser difíciles de cuantificar. Esto puede ser una cuestión importante cuando se analizan eventos con consecuencias severas. No se debe perder de vista que las consecuencias pueden incrementarse por efectos en cascada y efectos acumulativos. El análisis de riesgo proporciona una entrada para la valoración del riesgo, en la decisión de si es necesario o no tratar el riesgo, y qué estrategias y métodos se va a aplicar para ello.

Las técnicas de evaluación de riesgo más adecuadas se encuentran descritas en la Norma [ISO 31010 \(2015\)](#): *Gestión del riesgo - Técnicas de evaluación de riesgo*, que proporciona directrices para la selección y aplicación de técnicas sistemáticas para la evaluación de riesgo, con el objetivo de lograr establecer un orden de prioridades de las actividades de la gestión de riesgo que se van a llevar a cabo.

Dentro de las técnicas propuestas, la matriz de consecuencia/ probabilidad es un método que permite combinar clasificaciones cualitativas o semicuantitativas de consecuencia y probabilidad para producir un nivel de riesgo o una clasificación de riesgo. Normalmente, se utiliza como una herramienta de selección cuando se han identificado muchos riesgos, para definir cuáles son los riesgos que necesitan análisis adicionales o más detallados, cuáles son los que se han de tratar primero, o cuáles se han de referenciar a un nivel de gestión más elevado.

La escala (o escalas) de consecuencia debería cubrir la gama de diferentes tipos de consecuencia a considerar y se debería extender desde la consecuencia máxima verosímil hasta la consecuencia más baja de interés.

La escala de probabilidad debería estar adaptada a la gama aplicable al estudio bajo análisis, recordando que la probabilidad más baja debería ser aceptable para la consecuencia más alta definida, en caso contrario todas las actividades con la consecuencia más alta se definen como intolerables.

- **Tratamiento del riesgo:** consiste en seleccionar e implementar acciones para abordar el riesgo. Generalmente se trata de un proceso iterativo, en el cual se formulan y seleccionan las opciones para el tratamiento del riesgo, luego se planifican e implementan dichas acciones evaluando la eficacia de las mismas. Posteriormente se define si el riesgo residual de haber aplicado dichas acciones es aceptable, y en caso de no serlo, se efectúa un tratamiento adicional. La selección de las opciones más apropiadas para el tratamiento del riesgo surge del balance entre el beneficio potencial que se obtiene de aplicar dicha acción frente a los costos, esfuerzos o desventajas de la implementación de las mismas. Una vez seleccionadas las acciones que se consideran más apropiadas para el tratamiento del riesgo, se debe planificar dicho tratamiento de manera tal que los involucrados comprendan las disposicio-
-

nes, y que pueda realizarse el seguimiento del avance respecto de lo planificado. Este plan debe establecer claramente el orden en el que se debe implementar el tratamiento del riesgo.

- **Seguimiento y medición:** es la actividad mediante la cual se puede asegurar mejorar la calidad y eficiencia del diseño, la implementación y los resultados del proceso. Esta debe ser una actividad continua y planificada en el proceso de gestión de riesgo, y llevada a cabo por personal responsable claramente definido, donde se evalúen de manera periódica el procesos de gestión de riesgo y sus resultados.
 - **Registro e informe:** busca comunicar las actividades de gestión de riesgo y sus resultados a lo largo de la Organización, proporcionando información para la toma de decisiones, favoreciendo la interacción con las partes interesadas. Esta información debe asistir a las personas que tienen la responsabilidad y obligación de rendir cuentas por las actividades de gestión de riesgo que se desarrollan.
-

5. METODOLOGÍA

Para la gestión del mantenimiento de los equipos MC en la planta PC1 se optó por seguir los lineamientos de un modelo definido dentro de la moderna Gestión de Activos (GA), que tiene en cuenta e integra los conceptos teóricos desarrollados en el capítulo anterior. Específicamente, el modelo propuesto tiene como eje los conceptos brindados por la familia de Normas [ISO 55000 \(2015\)](#) y la propuesta desarrollada por los autores [Sola Rosique y Crespo Márquez \(2016\)](#), contemplando las siguientes etapas:

1. Diagnóstico de la Organización:

- Realizar una evaluación exhaustiva de los procesos, recursos y prácticas actuales relacionadas con la GA.
- Identificar los objetivos estratégicos y las necesidades operativas de la Organización en relación con sus activos.

2. Jerarquización de Activos:

- Clasificar los activos de acuerdo con su importancia estratégica y su impacto en los objetivos de la Organización.
- Utilizar criterios como la criticidad operativa, la relevancia financiera y la contribución a los resultados para establecer una jerarquía clara.

3. Revisión y Actualización del Plan de Mantenimiento:

- Evaluar el plan de mantenimiento existente, identificando áreas de mejora y optimización.
 - Incorporar las prioridades derivadas de la jerarquización de activos en la planificación de mantenimiento.
 - Actualizar los procedimientos y frecuencias de mantenimiento de acuerdo con las necesidades específicas de cada activo.
-

4. Control y Seguimiento del Mantenimiento:

- Implementar un sistema de monitoreo continuo para evaluar el rendimiento de los activos y la eficacia de las estrategias de mantenimiento.
- Establecer indicadores clave de rendimiento (KPI) para medir la eficiencia operativa y la confiabilidad de los activos.
- Realizar auditorías periódicas para garantizar el cumplimiento de los procedimientos establecidos.

5. Análisis Económico:

- Conducir un análisis económico de los activos, considerando costos de adquisición, mantenimiento y operación.
- Evaluar la rentabilidad y eficiencia de las estrategias de mantenimiento implementadas.
- Identificar oportunidades de optimización y reducción de costos sin comprometer la confiabilidad operativa.

Finalmente, se pretende utilizar los resultados del análisis económico y de los indicadores de mantenimiento para realizar ajustes continuos en las estrategias de GA. Buscar oportunidades de mejora y optimización en la utilización de recursos y en la eficiencia global del sistema. Como así también, mantenerse al tanto de nuevas tecnologías y mejores prácticas en GA para incorporar innovaciones según sea necesario.

Esta metodología proporciona un marco integral para la gestión efectiva de activos, abarcando desde la evaluación inicial de la Organización hasta la optimización continua basada en análisis económicos y de desempeño. Al seguir estas etapas, la Organización puede garantizar un enfoque holístico y eficiente para maximizar el valor y la confiabilidad de sus activos a lo largo del tiempo.

6. DESARROLLO

En este capítulo se presenta el desarrollo de las distintas etapas según la metodología propuesta en el apartado precedente, para el desarrollo de la gestión del mantenimiento de activos físicos en las plantas de MC (Motocompresores).

6.1. Diagnóstico de la Organización

En esta primera etapa del proyecto, el trabajo se centró en el análisis y comprensión de la serie de Normas ISO 55000, con el objetivo de comprender los requisitos mínimos necesarios para la implementación de un SGA, que posteriormente se traducirán en los requisitos pertinentes a ser aplicados en un sistema de gestión del Mantenimiento (SGM). De esta forma, se busca que los activos físicos presten servicio extendiendo su vida útil tanto como sea posible, generando valor para la Organización, y apoyando el cumplimiento de los objetivos, tanto del SGA, como los de la Organización.

El primer paso, y el más importante, es llevar a cabo un análisis del contexto en el que se quiere implementar el Sistema de Gestión. Esto es fundamental para poder establecer los objetivos del sistema, de modo tal que sean ambiciosos, pero a su vez alcanzables. Además, el análisis de contexto permite establecer el alcance que se le va a dar al sistema de gestión, en este caso de mantenimiento, determinando los límites que abarcará el mismo y los recursos disponibles y necesarios para llevar a cabo los objetivos establecidos. En las siguientes etapas se desarrollarán en detalle las actividades que corresponden al análisis de contexto. En estas se especifican los requisitos que plantea la serie de Normas ISO 55000, y qué actividades fueron llevadas a cabo para cumplir con lo propuesto en la implementación de un SGM, tomando como base los requisitos establecidos para la aplicación de un SGA.

Una vez realizado el análisis de contexto, se procedió a definir una política de gestión de mantenimiento, definiendo su alcance, los roles y las responsabilidades. Esto se realizó en conjunto con la alta dirección de la Organización, que en este caso incluyó a la gerencia general, la gerencia de operaciones y los supervisores de mantenimiento. Complementariamente, se identificaron los riesgos y oportunidades a tratar con el objetivo de asegurar que el sistema de gestión pueda lograr los resultados propuestos tendientes a prevenir

efectos indeseados y lograr la mejora continua. Luego, se describe la aplicación de un análisis de riesgo y criticidad, siguiendo los lineamientos propuestos por la Norma [ISO 31000 \(2018\)](#). Los resultados obtenidos de este análisis tienen por objeto establecer una base de referencia en la toma de decisiones que permitan definir las acciones a implementar para afrontar los riesgos y oportunidades de mejora identificadas, constituyéndose en el puntapié inicial para realizar la planificación de la implementación del SGM. Además, una vez identificados los riesgos y las oportunidades, se deben establecer los objetivos del sistema de gestión, los cuales deben ser coherentes, alcanzables, medibles y estar alineados con los objetivos de la Organización.

Como en todo sistema que se desee la mejora continua, la planificación es una de las etapas fundamentales para asegurar el correcto funcionamiento del sistema a implementar. En el presente trabajo, la planificación del SGM se realizó en la etapa de Revisión y Actualización del Plan de Mantenimiento, donde se definieron las actividades de mantenimiento que deben llevarse a cabo. Cuando se habla de actividades, no solo se refiere a las acciones directas de intervención de un activo, sino también a toda aquella actividad de trasfondo que normalmente se engloba en la gestión del mantenimiento, que si bien no son acciones que se realizan directamente sobre los equipos, son las acciones necesarias para el correcto desarrollo y programación de las actividades operativas. También, resulta imperativo llevar un registro documentado de las actividades desarrolladas que se consideren necesarias por la Organización. Por lo cual, se presenta el desarrollo y elaboración de la documentación de registro de las actividades de mantenimiento.

Finalmente, en la etapa de Control y Seguimiento se engloban las actividades que corresponden a la operación, evaluación de desempeño y mejora del SGM.

6.1.1. Contexto Operacional

La compresión de gas constituye un procedimiento esencial para el desarrollo de las actividades de un yacimiento. El gas natural es un recurso muy relevante en nuestra región, ya que constituye la base para el desarrollo de otras industrias y es esencial para diversas actividades humanas. Una vez extraído de los diversos pozos, se requiere su impulso para su tratamiento y distribución. Para la realización de esta tarea se emplean MC, los cuales presentan diversas configuraciones y dimensiones en función de las exigencias de los diversos procesos de los yacimientos. Estos equipos funcionan de manera continua los 365 días del año, las 24 horas del día. Cualquier paro no programado afecta a varios procesos, comprometiendo la producción, el tratamiento del gas y al ambiente. Por ejemplo, en los paros no programados existen procesos que salen de especificación. Además, el gas no comprimido debe ser venteado y quemado a la atmósfera, afectando al ambiente y generando pérdidas económicas.

Debido a esto, es fundamental asegurar el buen funcionamiento de los equipos MC, procurando un servicio eficiente, confiable, seguro y rentable. Esto implica que, durante todo el ciclo de vida del activo, las actividades de mantenimiento sean programadas y realizadas por personas que cuenten con un alto grado de especialización, respetando la seguridad propia, de su entorno y el cuidado del ambiente. Implementando técnicas de control de trabajo que implican:

- Valorizar los riesgos en la realización de las tareas.
- Planificar las tareas de mantenimiento, minimizando paros no programados.
- Tomar las acciones necesarias para bajar los riesgos a un nivel tolerable. Por ejemplo: realizar procedimientos para las tareas de operación y mantenimiento, aplicar nuevas tecnologías y adoptar mayores medidas de seguridad.

Para este yacimiento en particular, el gas natural proviene de subestaciones de producción a una presión regulada (27 psi promedio). Este gas es comprimido hasta 890 psi, para ser transferido hacia las plantas de tratamiento y su posterior distribución. Este proceso se realiza por medio de equipos MC recíprocos de tres etapas de compresión.

La planta PC1 cuenta con un conjunto de cinco equipos MC, a saber: MC01, MC02, MC03, MC05 y MC06. Las actividades de operación y mantenimiento son realizadas por personal subcontratado, disponiendo de un plantel constituido por tres operadores por turno (cada turno es de 12 horas, con diagramas rotativos de 8 días de trabajo por 4 de franco). Además, cuenta con dos supervisores de operaciones, un referente de seguridad y personal de mantenimiento durante el turno día, y guardias nocturnas ante cualquier eventualidad para todos los días del año.

El personal de mantenimiento realiza rutinas diarias de inspección y control, desarrollando además las tareas de los planes de mantenimiento preventivo y correctivo. Todas las tareas son programadas y analizadas previamente por el equipo de trabajo, desde el punto de vista de la seguridad de las personas y el cuidado del ambiente, determinando si es factible la realización de las tareas y/o definiendo qué medidas de control deben aplicarse para disminuir los riesgos inherentes.

La Organización posee distintas áreas que asisten al Servicio de Compresión de Gas, a saber:

- Operaciones.
- Mantenimiento.
- Seguridad.
- Calidad.
- Medio Ambiente.
- Ingeniería.
- Logística.
- Recursos Humanos.

Centralizando la atención en el área de Mantenimiento, se necesita la integración de cada sector para elaborar una metodología que permita cumplir con las expectativas del servicio y que a su vez genere valor agregado al activo. A tal fin, se propone aplicar las buenas prácticas del mantenimiento siguiendo los lineamientos dados en la serie de Normas [ISO 55000 \(2015\)](#).

6.1.2. Identificación de Activos

El sector de Ingeniería de Mantenimiento de la Organización promueve la correcta documentación del trabajo realizado, siendo esto fundamental para el desarrollo de su gestión. Producto de esto, es igualmente importante regular y establecer los procesos de gestión de la información. Particularmente, dentro de estos procesos, el Registro de Activos desempeña un rol fundamental en la efectividad y eficiencia de la Organización del mantenimiento. Una buena estructura es uno de los pilares necesarios para determinar tendencias de desempeño, tener un correcto catálogo de fallas y soluciones, investigar incidentes, tomar decisiones de reemplazos o modificaciones, desarrollar estudios de mantenibilidad y confiabilidad, y llevar a cabo estudios y registros de costo de ciclo de vida.

El sistema de identificación (TAG) adoptado por la Organización, incluye cierta información de cada ítem de forma tal que permite individualizar el equipo dentro de la planta a la que pertenece. El Proceso de Administración de Objetos Técnicos está referido exclusivamente a activos de la compañía o gestionados por ella. Es decir excluye los activos incorporados por terceros bajo un contrato de servicios para cumplir con tal (vehículos, facilidades, entre otros). Un Objeto Técnico Mantenable dado de alta se ubicará a partir del cuarto nivel, inclusive, de la estructura jerárquica definida por la empresa (ver Figura 12). A su vez este nivel deberá ser congruente con el sexto nivel de la taxonomía especificada por la Norma ISO 14224 (2016) (ver Figura 9).

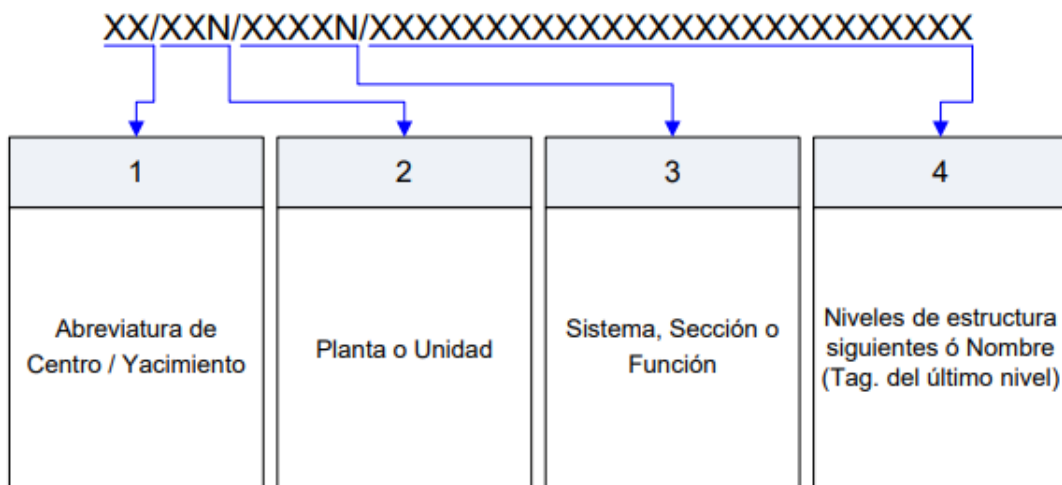


Figura 12. Taxonomía de Ubicaciones Técnicas.

6.1.3. Análisis de Antecedentes

Como se mencionó anteriormente, el primer paso para la aplicación de un correcto SGM, es saber dónde se encuentra posicionada la Organización frente al entorno que la rodea. Es por esto, fundamental llevar a cabo un análisis pormenorizado del contexto.

En virtud de lo expuesto, se recopiló documentación de los equipos e instalaciones, referida a: especificaciones técnicas, procesos involucrados, intervenciones de mantenimiento, registros de fallas, modificaciones y/o actualizaciones, y cualquier dato relacionado con la historia de vida de los activos. Esta información se recopiló a partir de la base de datos del sistema informático SAP (<https://www.sap.com/>).

En cuanto al archivo permanente de documentación, la Organización proporcionó la siguiente información:

- Planos de detalle de las plantas bajo estudio, *layouts*, diagramas de instrumentación, entre otros.
- Catálogos y manuales de operación, provistos por los fabricantes.
- Registros de mantenimiento.
- Registros de recambio de algunos elementos constitutivos.

Toda esta documentación se procesó y se seleccionó lo que se consideró pertinente para el desarrollo del trabajo. A partir de la recopilación de información, se pudo identificar y tipificar los equipos instalados en cada una de las plantas bajo estudio.

En paralelo, se mantuvieron reuniones con los referentes de las distintas áreas técnicas de la Organización. Las mismas se llevaron a cabo en las oficinas administrativas de la Organización, y en la locación en la cual están instaladas las plantas. En particular, se realizaron entrevistas al referente del área de seguridad e higiene, al personal operativo de las distintas plantas y al referente de mantenimiento de la empresa contratada para el alquiler de la planta PC3. Como resultado de dichas reuniones, se pudo completar la información en cuanto a ciertas actividades de mantenimiento que comúnmente no son estrictamente documentadas, y se tuvo una aproximación, basada en la experiencia de los entrevistados, en cuanto a los riesgos asociados a la operación y mantenimiento de las plantas.

Se debe mencionar, que de acuerdo a la documentación analizada, no se realizaban registros con un grado de detalle que permitiera discriminar adecuadamente los fallos. En tal sentido, en la planta PC1 solo se evaluaban indicadores asociados a la disponibilidad mecánica y horas de paro de cada motocompresor. Razón por la cual no se contemplaba en el análisis la disponibilidad total de la Planta. En el caso de la planta PC3, solo se registraban las horas de paro de los equipos y la consecuente pérdida de producción asociada. En conclusión, no se observó un criterio unificado al momento del abordaje del mantenimiento del conjunto del sistema de compresión en ambas plantas.

En la Figura 13 se presenta la evolución de los paros no programados en los equipos MC discriminados por planta. Se puede observar claramente que los equipos correspondientes a la planta PC1 registran un desempeño deficiente en comparación con la planta PC3.

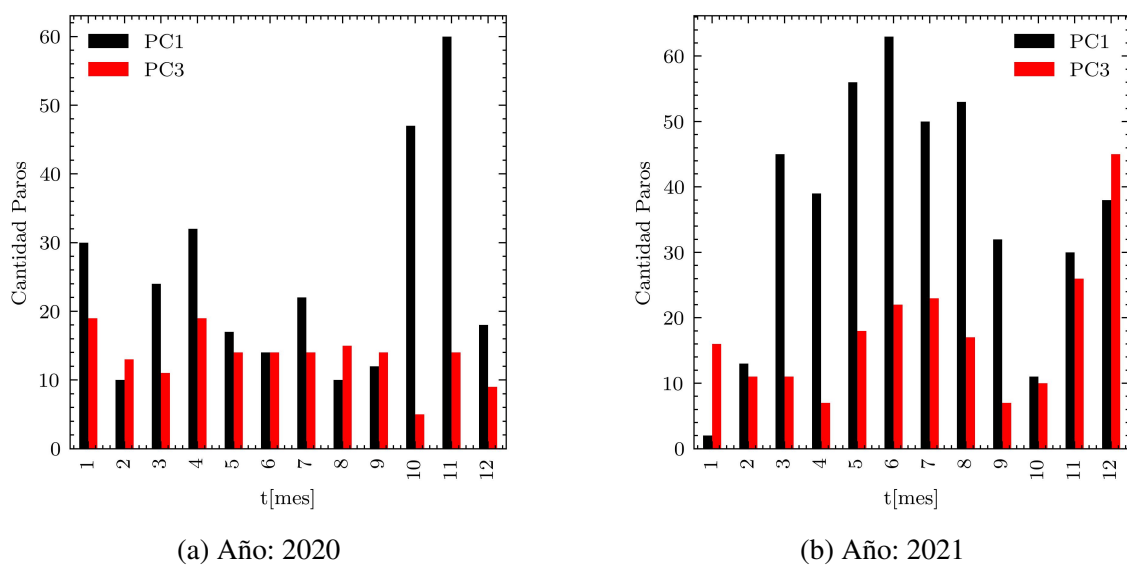


Figura 13. Registro histórico de paros en equipos MC discriminados por planta.

Los resultados obtenidos, motivaron que se establezcan criterios unificados al momento de evaluar cada una de las plantas. A tal fin, en primera instancia, se modificaron los partes diarios de operación y se definieron indicadores de disponibilidad mecánica global a partir de un registro de datos con mayor grado de detalle. A continuación, se describen los indicadores adoptados.

6.1.4. Definición del Alcance y Objetivos del SGM

En esta etapa, y en base al desarrollo alcanzado en las etapas anteriores, se enfocó la atención en cómo la Organización lleva a la práctica las tareas asociadas a la gestión del mantenimiento.

Como se mencionó anteriormente, se detectó que no se realizaban adecuadamente los registros de las tareas ejecutadas, omitiéndose información valiosa para dar seguimiento a las mismas. Dada esta situación, al momento de registrarse una falla, el personal de mantenimiento se limitaba a realizar las operaciones requeridas, dando solo aviso de las novedades diarias sin brindar un detalle pormenorizado. En los casos en que no se podía dar respuesta con el personal propio de la empresa, se optaba por la contratación de proveedores externos, formalizando el trabajo a través de órdenes de compra sin registrar adecuadamente las tareas desarrolladas.

Una vez tomado conocimiento sobre la gestión de las tareas de mantenimiento, se hizo evidente la necesidad de adecuar las prácticas de la Organización tendientes a mejorar la confiabilidad de las plantas. Con este fin, se mantuvieron diversas reuniones con la gerencia general de la Organización, la gerencia técnica y el supervisor de mantenimiento. En dichas reuniones, se acordó la necesidad de realizar un cambio de paradigma en la política de gestión de mantenimiento, en pos de mejorar la disponibilidad de los equipos y la calidad del servicio. La decisión tomada en conjunto, fue la de actualizar la política de mantenimiento preventivo programado de la Organización.

Esta decisión se planteó en base a lo recomendado por la Norma [ISO 55002 \(2015\)](#), en cuanto a los beneficios de desarrollar un primer plan de gestión provisorio, que ayude a la Organización a comprender las fortalezas y debilidades actuales, e identifique las prioridades en el desarrollo de planes futuros, optimizando los recursos implementados que aporten valor al sistema de gestión. En cuanto a la definición del alcance del SGM, se incluyeron dentro del mismo las plantas compresoras identificadas como PC1 y PC3.

En función de lo expuesto, se definieron los siguientes objetivos de la gestión del mantenimiento:

- Aumento del nivel de servicio, con disminución de paradas no programadas.
 - Aumento de la disponibilidad de los activos.
-

- Aumento de la confiabilidad de los activos.
- Mejora de la condición y el desempeño de los activos.
- Reducción de incidentes de seguridad relacionados a fallas de activos.
- Reducción del impacto ambiental.
- Costo de indisponibilidad de las plantas (lucro cesante).

Como en todo proceso, en el que se busca la mejora continua, es necesario evaluar el desempeño de la gestión de mantenimiento, para determinar si las metas y objetivos propuestos se están cumpliendo. Para realizar esta evaluación, se definieron indicadores de desempeño, los cuales ayudan a identificar áreas problemáticas que necesitan atención en la gestión y también destaca áreas exitosas. Dentro de los indicadores de mantenimiento más importantes, adoptados por la Organización, podemos destacar los siguientes:

- **Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF):** este parámetro establece el período promedio entre fallas de un elemento. Dicho elemento puede ser un equipo o un sistema complejo, con la condición de que se repara luego de la ocurrencia de la falla. Se expresa como el tiempo establecido para operar T_o , menos el tiempo por parada no programadas T_{np} , dividido el número total de fallas C_f detectadas durante el período de operación. Se define como:

$$MTBF = \frac{T_o - T_{np}}{C_f} \quad (1)$$

- **Tiempo Promedio para la Falla (MTTF):** indica con que frecuencia promedio se produce la falla del componente, considerando solo el repuesto o elemento a sustituir. Se define como:

$$MTTF = \frac{T_o}{C_f} \quad (2)$$

- **Tiempo Promedio para la Reparación (MTTR):** se define como la relación entre el tiempo total de intervenciones para la restitución del servicio T_{tr} , y el número total de reparaciones C_r . Según la siguiente expresión:

$$MTTR = \frac{T_{tr}}{C_r} \quad (3)$$

- **Disponibilidad Operacional (D_o):** representa el porcentaje de tiempo disponible para el proceso de operación en las condiciones de seguridad y calidad establecidas. Establece una relación entre el tiempo operativo y el tiempo de paradas no programadas T_{np} a partir de la siguiente ecuación:

$$D_o = \frac{T_o - T_{np}}{T_o} 100 \% \quad (4)$$

- **Porcentaje de utilización efectiva ($\%UTE$):** se define como el porcentaje del tiempo total que un activo está siendo operado en un período determinado, cumpliendo su función. En este indicador, se contempla el tiempo de paradas programadas T_{pp} .

$$\%UTE = \frac{T_o - T_{np} - T_{pp} - T_r}{T_o} 100 \% \quad (5)$$

- **Costo de la indisponibilidad por fallas (CIF):** este indicador contempla los costos de penalización por hora CP (u\$/h) generados durante el *downtime* por eventos de Fallas (mantenimientos correctivos, paros de planta, entre otros).

$$CIF = C_f T_{tr} CP \quad (6)$$

- **Confiabilidad ($C(t)$):** es la probabilidad de que un equipo cumpla con sus funciones requeridas, sin presentar fallas, en un período de tiempo t analizado.

$$C(t) = e^{-t/MTTF} \quad (7)$$

La elección de los indicadores definidos previamente se fundamenta en:

- Su sencillez de cálculo a partir de la información registrada.

- La representatividad de la información que brindan (aún cuando no se cuenta con gran cantidad de datos históricos).
- La capacidad de reflejar el tipo servicio que está prestando el equipo bajo estudio.

A partir de la evaluación de estos indicadores, se podrá establecer que tan cerca o lejos se encuentra el desempeño del SGM, conforme a lo que haya sido planificado para el mismo. A modo representativo, en la Figura 14 se presenta en una línea temporal, algunos de los indicadores mencionados.

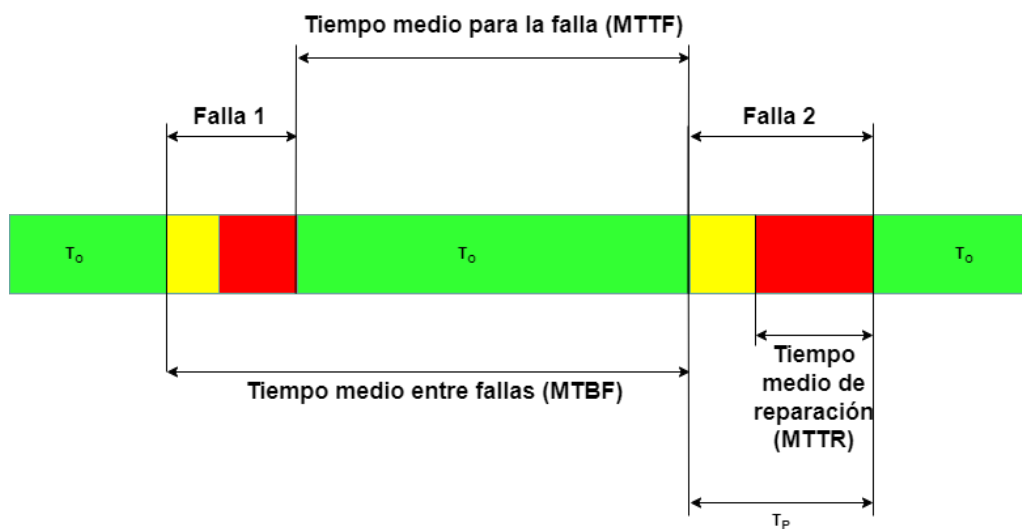


Figura 14. Representación temporal de los indicadores.

6.2. Jerarquización de Activos

Normalmente se acepta que el enfoque proactivo es el que debe primar en la atención a los activos que presenten modos de fallos que puedan dar lugar a consecuencias inadmisibles. La clasificación de un componente como “crítico” supondrá la exigencia de establecer alguna tarea eficiente de mantenimiento preventivo que permita disminuir sus posibles causas de fallo.

La forma generalmente utilizada para realizar la jerarquización de los elementos dentro de un sistema productivo o de servicios, es el empleo de un grupo de factores, criterios o variables que caractericen su contexto operacional y valoren las consecuencias que sobre cada una de ellas genera el modo de fallo que se presente. Existe un grupo de criterios que son comunes en la mayoría de los análisis, tales como:

- Frecuencia de fallos.
- Impacto en la producción, penalización por *downtime* del equipo.
- Costos del servicio.
- Mantenimiento.
- Fecha de finalización de la concesión del yacimiento.
- Impacto en la calidad del servicio, y su relación directa con la imagen de la empresa.
- Impacto ambiental.
- Impacto en la política de Seguridad e Higiene de la empresa.

Por definición de la gerencia del yacimiento, dado su rol fundamental en la planta de tratamiento de gas del yacimiento, se definen a los equipos MC como equipos críticos. Esta valoración sirve como filtro para enfocar esfuerzos en los elementos que realmente generan impacto. El resto de los equipos asociados a los equipos MC se los considera como secundarios.

Un fallo funcional se define como una ocurrencia no previsible, que no permite que el activo alcance el funcionamiento esperado en el contexto operacional en el cual se

desempeña. El nivel de insatisfacción producido por causa del fallo funcional dependerá de las consecuencias que pueda generar la aparición de dicho fallo dentro del contexto operacional.

Los diferentes fallos funcionales pueden incidir sobre una función de forma parcial o total. La pérdida total de la función ocurre cuando un activo se detiene por completo de forma inesperada. La pérdida parcial ocurre cuando el activo no puede alcanzar el estándar de ejecución esperado, es decir, cuando opera de forma ineficiente o fuera de los límites específicos tolerados. La definición precisa de un fallo funcional para un activo depende en gran parte del contexto operacional del mismo, por lo que activos idénticos pueden sufrir diferentes fallos funcionales si el contexto operacional es diferente.

El análisis de criticidad de un activo (equipo) y sus componentes, se inicia preguntándose cuál sería el impacto (consecuencias) en caso de que ocurriese un evento de pérdida de la función, sea ésta principal o secundaria. Posteriormente, se identifica si para este equipo existe alguna condición operacional que le permita estar fuera de servicio sin afectación alguna (redundancia) y, finalmente, establecer cuán seguido podría ocurrir el evento que conduce a esta pérdida de función (frecuencia).

Por lo expuesto, en esta etapa se implementaron durante el año 2022, las acciones definidas previamente en relación con los registros de información y la recopilación de datos. Estos datos, se tomaron como base para el cálculo de los nuevos indicadores, a partir de los cuáles, finalmente se actualizó la matriz de criticidad.

6.2.1. Análisis de Fallas

La recolección de datos en el mantenimiento es esencial para la implementación de estrategias de mantenimiento efectivas. Por lo tanto, en esta etapa se implementó un registro de información idéntico en ambas plantas. A partir de los datos históricos, relevados en los partes diarios de operaciones, se obtuvieron los indicadores de disponibilidad funcional global para cada una de las plantas. En las Figuras 15 y 16, se presentan los indicadores de mantenimiento del año 2022, obtenidos con la implementación de la nueva metodología propuesta.

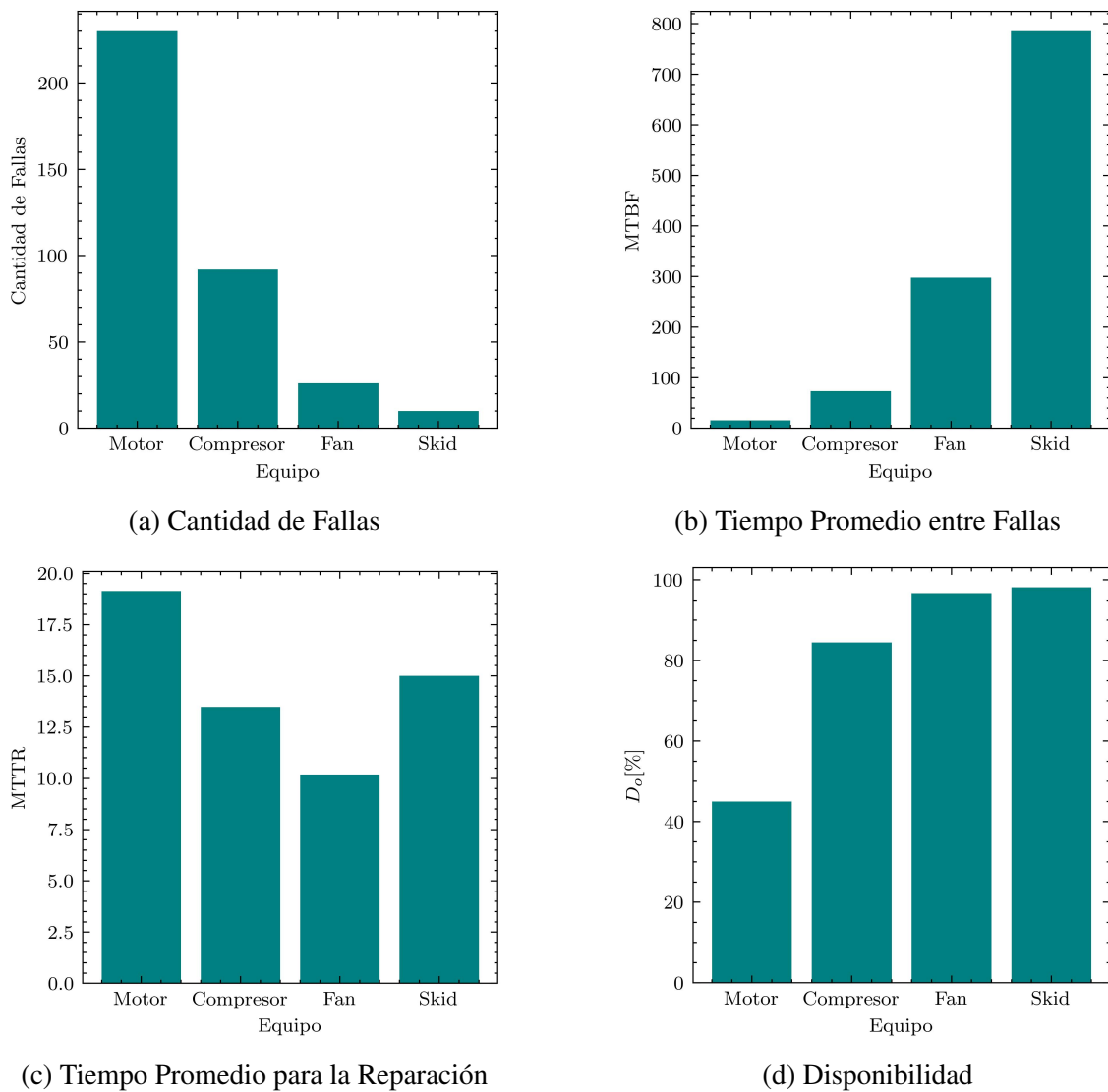


Figura 15. Indicadores de Mantenimiento Planta PC1 (Año: 2022).

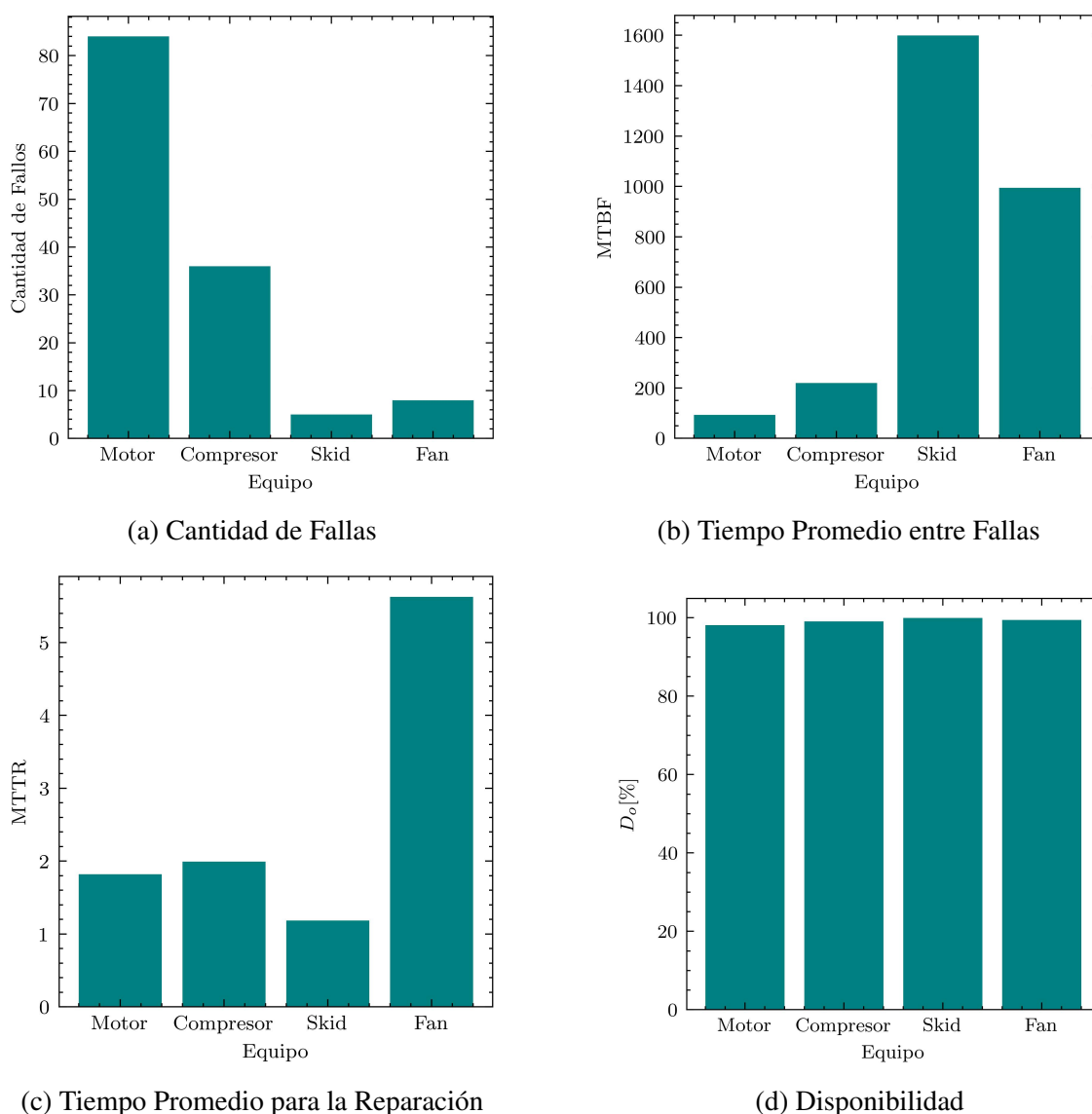


Figura 16. Indicadores de Mantenimiento Planta PC3 (Año: 2022).

Dentro de las herramientas de la GA, el diagrama de Pareto es una herramienta que se utiliza en el análisis de fallas, para identificar y priorizar las causas de las mismas en un sistema o proceso. Se basa en el principio de que aproximadamente el 80% de los problemas provienen del 20%. Permite priorizar esfuerzos de mejora y concentrar recursos en las áreas que tienen el mayor impacto en la reducción de las fallas. En síntesis, ayuda a tomar decisiones informadas y a optimizar la asignación de recursos para abordar los problemas más significativos. A continuación se presenta para el año 2022, el desglose de cada una de las fallas para cada uno de los subsistemas principales, que conforman los equipos de las plantas compresoras bajo estudio.

Tabla 1. Identificación de fallas motor PC1.

ID	Descripción
1	Otras fallas de motor (detallar en observaciones).
2	Problemas mecánicos.
3	Problemas de instrumentación.
4	Fuga de aceite motor / compresor.
5	Paros correctivos sin programar.
6	Fallas en motor.
7	Paro por vibración en el motor.
8	Problemas ignición / combustión.
9	Motor de arranque.
10	Paro por detonaciones motor.
11	Sistema de lubricación.
12	Calibración / ajuste del motor.
13	Eléctricos (otros).
14	Sistema de encendido.
15	Fallas en el turbocompresor.
16	Múltiple de escape.
17	Refrigeración de motor.
18	Sistema de control.
19	Tapa de cilindro.
20	Bomba de agua auxiliar.
21	Bomba de agua principal.
22	Paro por alta temperatura cilindro motriz.
23	Boca de potencia (camisa, pistón, biela).
24	Fallas <i>aftercooler</i> .
25	Cambio de guarda correa de alternador.
26	Paro por temperatura <i>manifold</i> de aire.
27	Paro alta temperatura del aceite motor.
28	Paro por sobre velocidad (RPM).
29	Paro baja presión aceite motor.
30	Paro por fallas de bujías.
31	Paro alta temperatura refrigerante sistema principal.
32	Paro alta temperatura refrigerante sistema auxiliar.
33	Pérdida de aceite o refrigerante de motor.

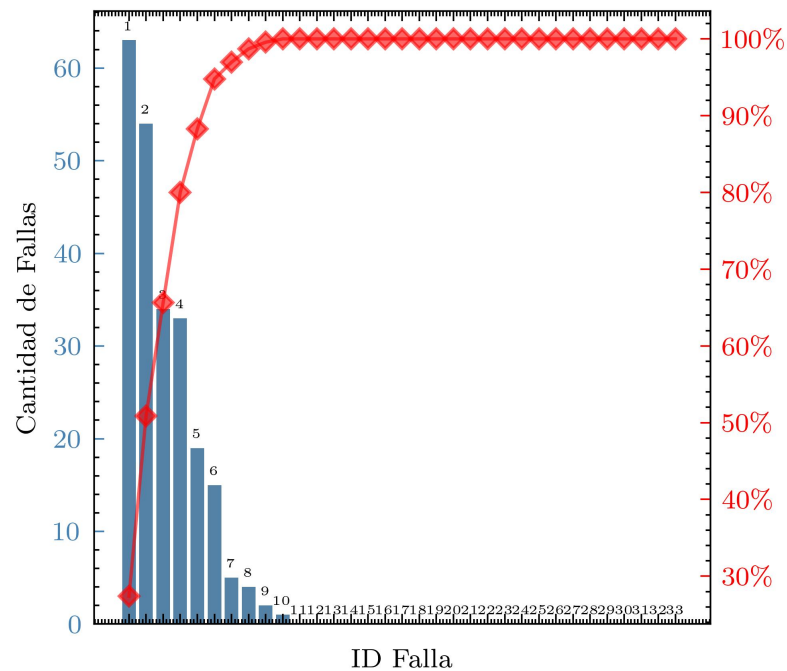


Figura 17. Cantidad de fallas del motor PC1 (según Tabla 1).

Tabla 2. Identificación de fallas compresor PC1.

ID	Descripción
1	Paro por alta temperatura en válvulas compresoras.
2	Paro (otros).
3	Paro vibración compresor.
4	Paro alta temperatura de descarga Compresor (<i>throw</i> Nro. 1).
5	Paro alta temperatura descarga Compresor (<i>throw</i> Nro. 3).
6	Paro alta presión descarga 3era. etapa.
7	Paro no <i>flow</i> compresor.
8	Paro alta presión de succión.
9	Estallido placa de lubricación forzada.
10	Fuga en venteos de caja de empaquetadura.
11	Modificación de espacio nocivo (<i>pockets</i>).
12	Fallas en enfriador de aceite de compresor.
13	Fallas conjunto vástago-pistón.
14	Fallas cruceta-biela-cigüeñal.
15	Pérdida de aceite compresor.
16	Fallas en bloque de distribución.
17	Fallas en Bombín de lubricación forzada.
18	Paro alta presión de descarga.
19	Paro baja presión descarga 3era. etapa.
20	Paro baja presión descarga 2da. etapa.
21	Paro baja presión descarga 1era. etapa.
22	Paro alta temperatura descarga compresor (<i>throw</i> Nro. 2).
23	Paro alta presión descarga 1era. etapa.
24	Paro alta presión descarga 2da. etapa.
25	Paro alta temperatura (no detallado).
26	Paro alta temperatura aceite compresor.
27	Paro baja presión aceite compresor .
28	Paro (otros).

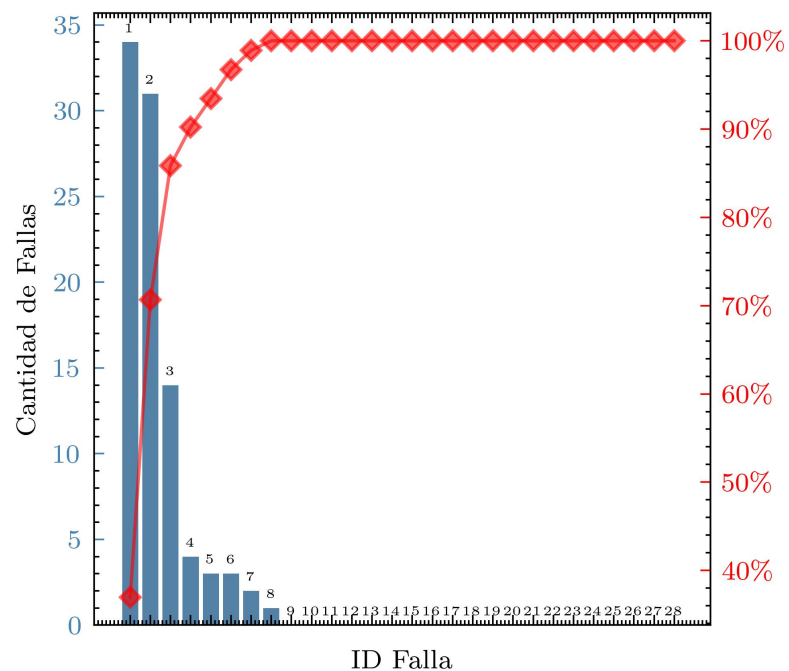


Figura 18. Cantidad de fallas del compresor PC1 (según Tabla 2).

Tabla 3. Identificación de fallas *skid* PC1.

ID	Descripción
1	Fallas en transductores de presión.
2	Alto nivel líquido 3era. etapa.
3	Alto nivel líquido 2da. etapa.
4	Pasajes en PSV.
5	Alto nivel líquido 1ra. etapa.
6	Sistema de combustible.
7	Sistema eléctrico 24 Vcc.
8	Desajuste de soporte.
9	Fallas en sistema de precalentadores.
10	Fallas en termocuplas de compresor.
11	Fallas en válvula de proceso.
12	Fallas sistema de descarga automático <i>scrubbers</i> .
13	Limpieza de equipo.
14	Mezcla explosiva (detallar en observaciones).

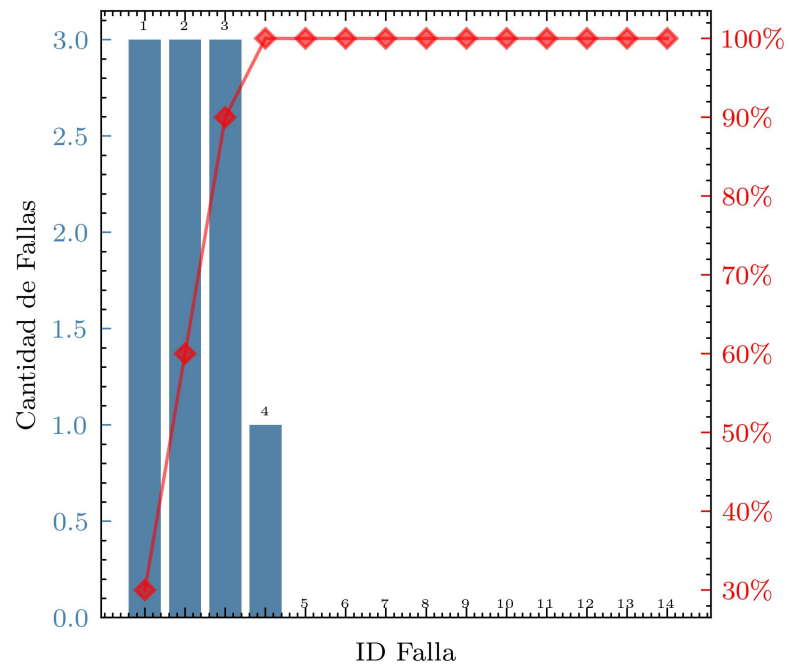
Figura 19. Cantidad de fallas del *skid* PC1 (según Tabla 3).

Tabla 4. Identificación de fallas *fan* PC1.

ID	Descripción
1	Alta temperatura por obstrucción de aleteado.
2	Fallas rodamientos del eje del ventilador.
3	Fallas / reemplazo / tensado de correas.
4	Paro vibración <i>cooler</i> .
5	Fallas ventilador del <i>cooler</i> .

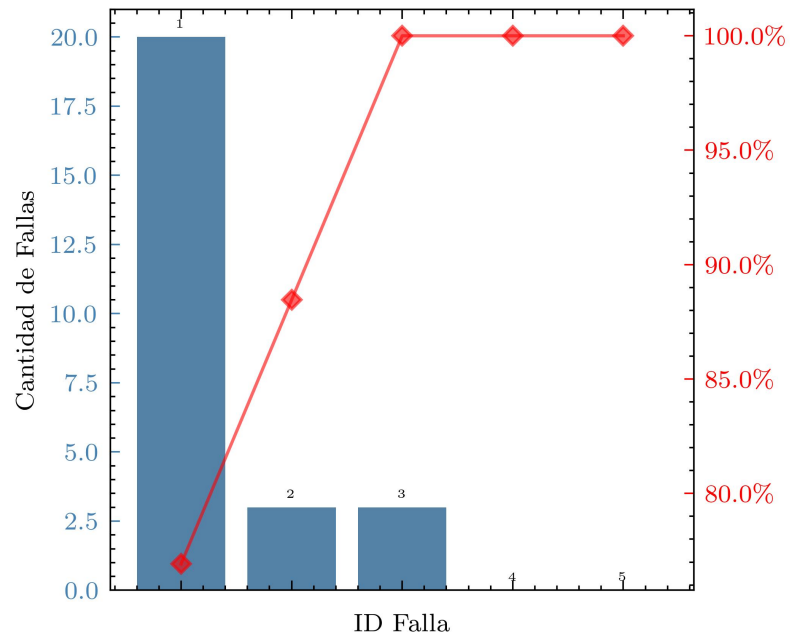
Figura 20. Cantidad de fallas del *fan* PC1 (según Tabla 4).

Tabla 5. Identificación de fallas motor PC3.

ID	Descripción
1	Paro por detonaciones motor.
2	Problemas de instrumentación.
3	Fallas en motor.
4	Otras fallas de motor (detallar en observaciones).
5	Paro baja presión aceite motor.
6	Problemas mecánicos .
7	Refrigeración de motor.
8	Paro alta temperatura cilindro motriz.
9	Problemas ignición / combustión.
10	Eléctricos (otros).
11	Paro fallas de bujías.
12	Sistema de lubricación.
13	Paro por temperatura <i>manifold</i> de aire.
14	Fuga de aceite motor / compresor.
15	Paro alta temperatura refrigerante sistema principal.
16	Tapa de cilindro.
17	Bomba de agua auxiliar.
18	Pérdida de aceite o refrigerante de Motor.
19	Fallas turbo.
20	Sistema de control.
21	Múltiple de escape.
22	Sistema de encendido.
23	Calibración / ajuste del motor.
24	Bomba de agua principal.
25	Paro por sobre velocidad (RPM).
26	Boca de potencia (camisa, pistón, biela).
27	Fallas <i>aftercooler</i> .
28	Cambio de guarda correa de alternador.
29	Paro alta temperatura aceite motor.
30	Paro alta temperatura refrigerante sistema auxiliar.
31	Motor de arranque.
32	Paros correctivos por Mantenimiento con responsabilidad de personal propio (falta de repuestos/otros).
33	Paro vibración motor.
34	Limpieza cono de bujías.

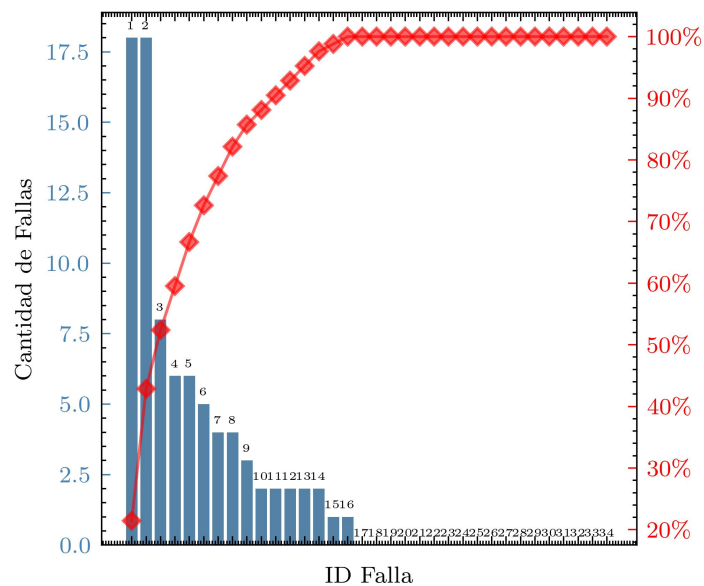


Figura 21. Cantidad de fallas del motor PC3 (según Tabla 5).

Tabla 6. Identificación de fallas compresor PC3.

ID	Descripción
1	Paro por alta temperatura en válvulas compresoras.
2	Paro (otros).
3	Paro alta presión de succión.
4	Paro alta presión descarga 1era. etapa.
5	Paro no <i>flow</i> compresor.
6	Paro baja presión descarga 2da. etapa.
7	Fallas en enfriador de aceite de compresor.
8	Pérdida de aceite compresor.
9	Fallas cruceta-biela-cigüeñal.
10	Fallas conjunto vástago-pistón.
11	Estallido placa de lubricación forzada.
12	Modificación de espacio nocivo (<i>pockets</i>).
13	Fuga en venteos de caja de empaquetadura.
14	Fallas en bombín de lubricación forzada.
15	Fallas en bloque de distribución.
16	Paro baja presión descarga 3era. etapa.
17	Paro alta presión de descarga.
18	Paro baja presión descarga 1era. etapa.
19	Paro alta temperatura de descarga Compresor (<i>throw</i> Nro. 4).
20	Paro alta presión descarga 2da. etapa.
21	Paro alta temperatura descarga compresor (<i>throw</i> Nro. 2).
22	Paro alta temperatura descarga Compresor (<i>throw</i> Nro. 3).
23	Paro alta temperatura aceite compresor.
24	Paro baja presión aceite compresor .
25	Paro alta temperatura (no detallado).
26	Paro alta presión descarga 3era. etapa.
27	Paro alta temperatura de descarga compresor (<i>throw</i> Nro. 1).
28	Paro vibración compresor.

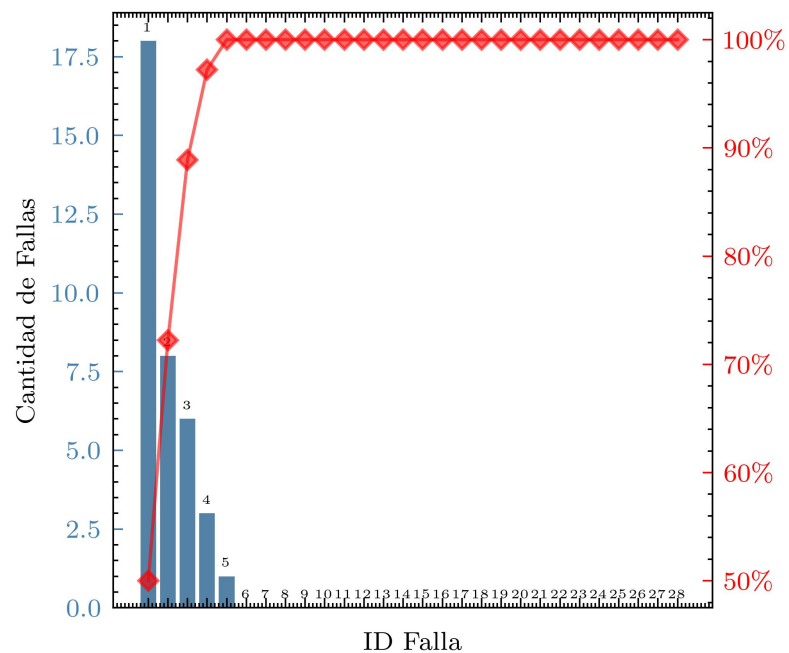
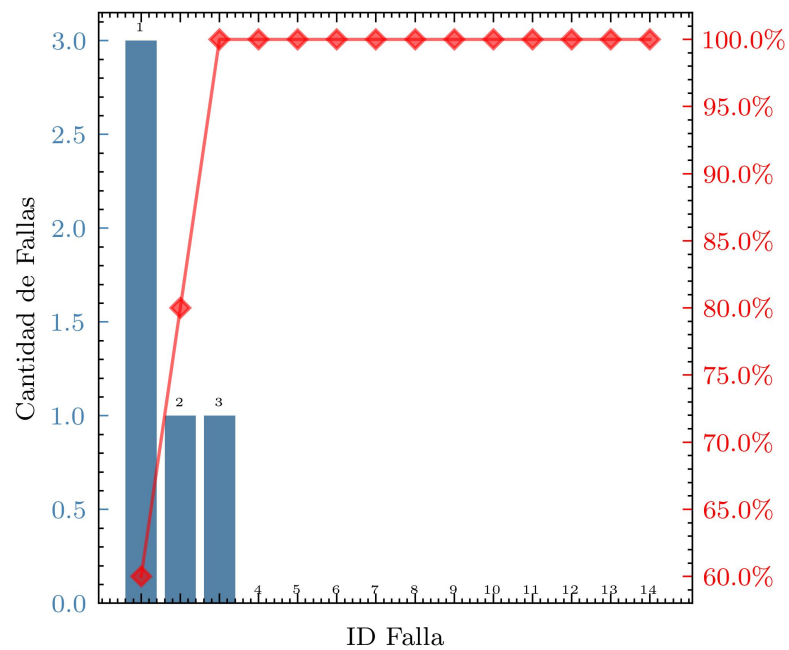


Figura 22. Cantidad de fallas del compresor PC3 (según Tabla 6).

Tabla 7. Identificación de fallas *skid* PC3.

ID	Descripción
1	Sistema de combustible.
2	Pasajes en PSV.
3	Fallas en transductores de presión.
4	Alto nivel líquido 3era. etapa.
5	Alto nivel líquido 2da. etapa.
6	Alto nivel líquido 1ra. etapa.
7	Sistema eléctrico 24 Vcc.
8	Desajuste de soporte.
9	Fallas en sistema de precalentadores.
10	Fallas en termocuplas de compresor.
11	Fallas en válvula de proceso.
12	Fallas sistema de descarga automático <i>scrubbers</i> .
13	Limpieza de equipo.
14	Mezcla explosiva (detallar en observaciones).

Figura 23. Cantidad de fallas del *skid* PC3 (según Tabla 7).Tabla 8. Identificación de fallas *fan* PC3.

ID	Descripción
1	Fallas rodamientos del eje del ventilador.
2	Paro vibración <i>cooler</i> .
3	Fallas / reemplazo / tensado de correas.
4	Fallas ventilador del <i>cooler</i> .
5	Otras falla de <i>fan</i> (detallar en observaciones).

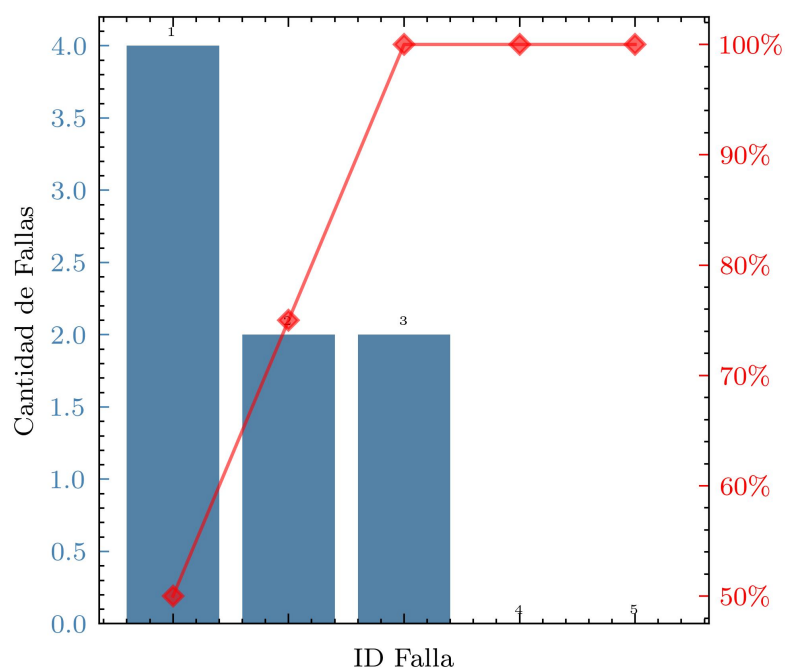


Figura 24. Cantidad de fallas del *fan* PC3 (según Tabla 8).

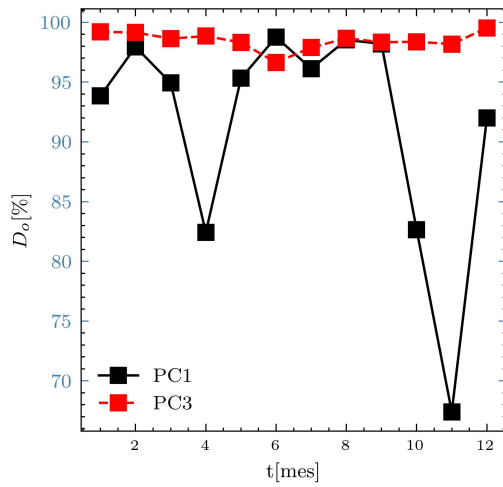
6.2.2. Disponibilidad Operativa

A continuación, se presenta un estudio comparativo que contempla la DO y el %UTE de las plantas PC1 y PC3 para el período 2020-2022 (ver Figura 25).

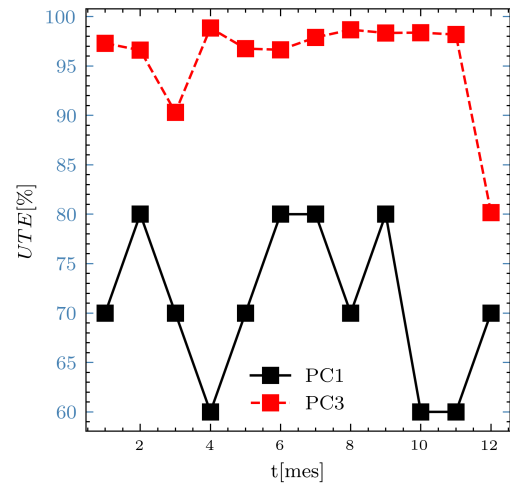
En los dos primeros años, se puede observar la baja *performance* que tuvieron los equipos pertenecientes a PC1. Estos funcionaron por poco tiempo y con muy baja disponibilidad. Lo contrario sucede con los equipos de PC3 que alcanzaron valores superiores al 95 % de DO, y mayores al 92 % de UTE %.

A partir del año 2022, se manifestaron los primeros resultados positivos asociados a la nueva gestión de mantenimiento de los equipos de PC1. Durante el primer semestre, los equipos de PC1 incrementaron su carga de operación para suplir la caída de disponibilidad que sufrió PC3. Mientras que en el segundo semestre, algunos equipos de PC1 estuvieron fuera de servicio con el objetivo de dar continuidad al plan de mejoras propuesto.

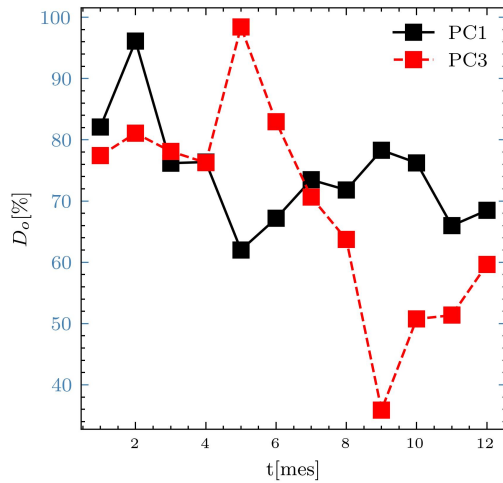
De forma complementaria, se calculó la DO de cada MC para la planta PC1 (ver Figura 26). En base a los resultados obtenidos para estos equipos, se establecieron aspectos prioritarios dentro de la planificación de las tareas de mantenimiento, centrando la atención en los equipos que presentaron menores índices de DO.



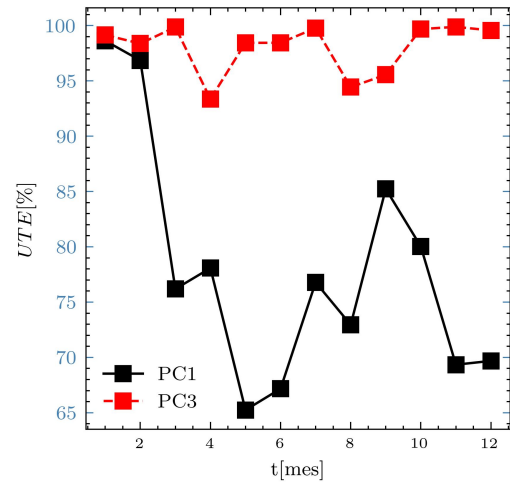
(a) Disponibilidad Operativa (Año: 2020)



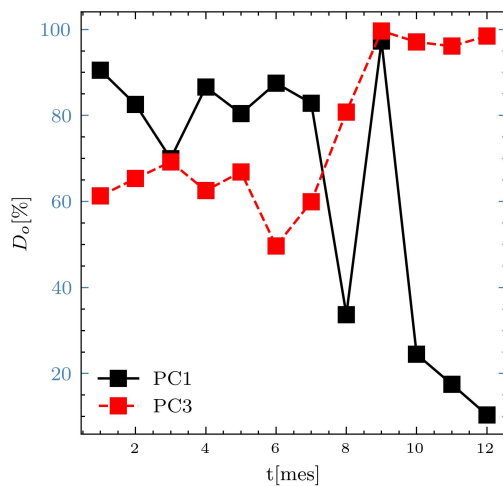
(b) Porcentaje de utilización efectiva (Año: 2020)



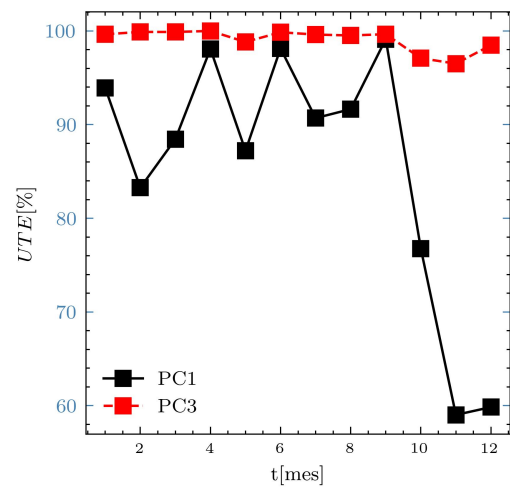
(c) Disponibilidad Operativa (Año: 2021)



(d) Porcentaje de utilización efectiva (Año: 2021)

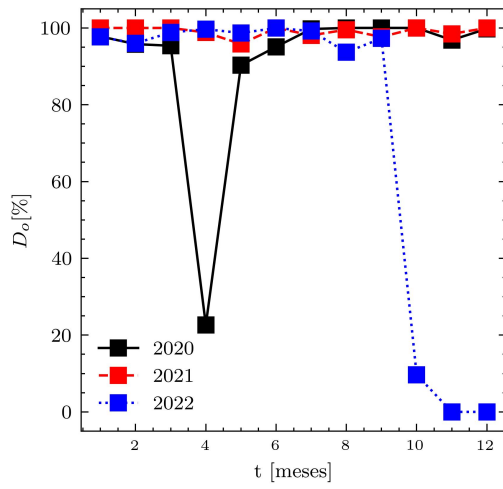


(e) Disponibilidad Operativa (Año: 2022)

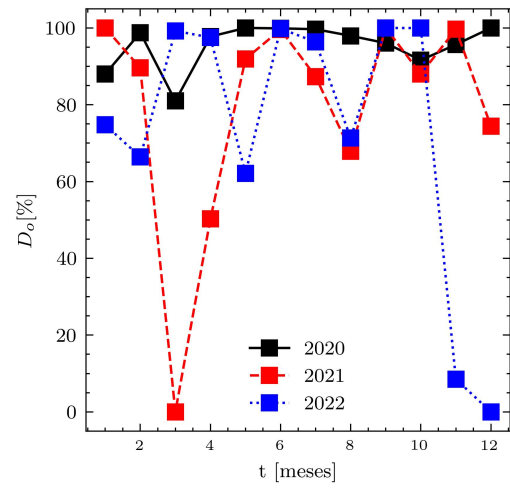


(f) Porcentaje de utilización efectiva (Año: 2022)

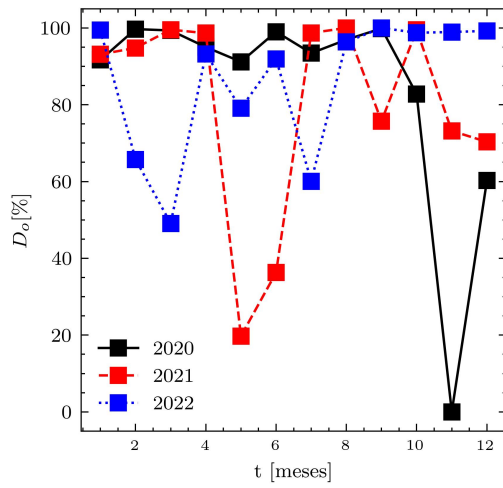
Figura 25. Indicadores de Mantenimiento por planta según evolución anual.



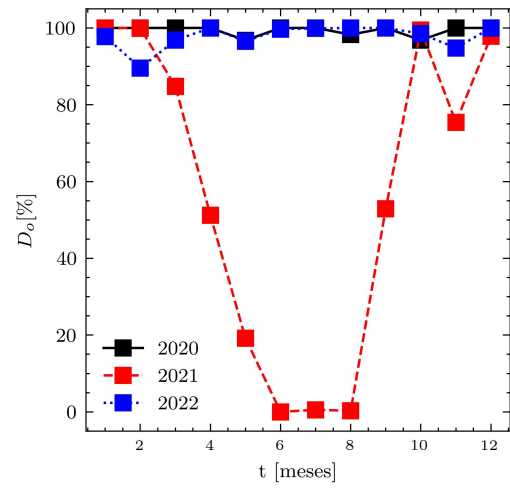
(a) MC-01



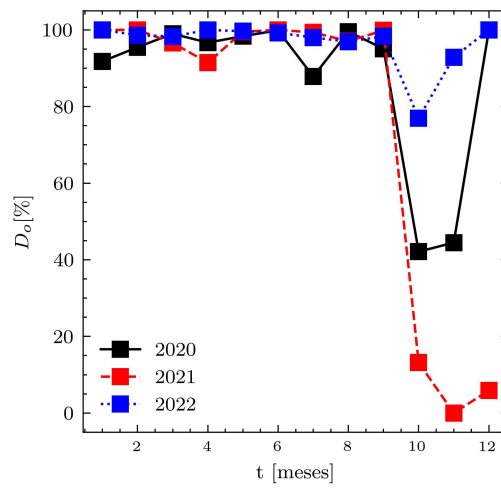
(b) MC-02



(c) MC-03



(d) MC-04



(e) MC-05

Figura 26. Disponibilidad para cada MC instalado en la planta PC1 según evolución anual.

De forma análoga al estudio realizado para la planta PC1, se realizó el estudio de los equipos MC instalados en la planta PC3 (ver Figura 27). Los resultados obtenidos de referencia como valores objetivo, que deben ser alcanzados por los equipos de PC1, dada la buena *performance* alcanzada por el conjunto PC3 en los períodos analizados.

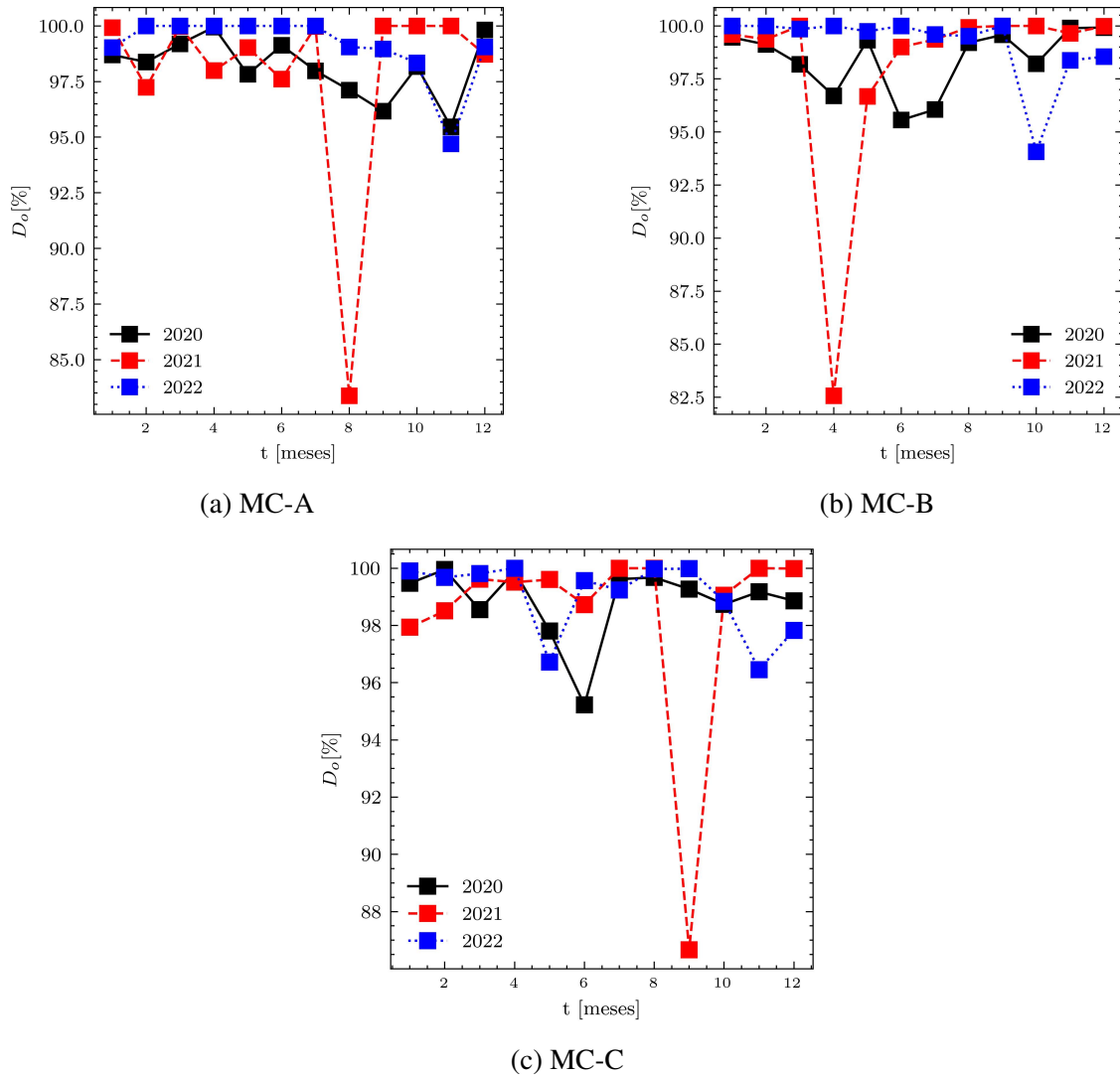


Figura 27. Disponibilidad para cada MC instalado en la planta PC3 según evolución anual.

6.2.3. Análisis de Confiabilidad

Para el cálculo de la confiabilidad $C(T)$ se asumió un modelo exponencial considerando que los elementos están sujetos a fallos de diversas causas, y no a una causa predominante. Para el análisis independiente de cada subsistema (Motor, Compresor, Fan y Skid), se utilizó la Ecuación 7. La probabilidad de fallas $P(t)$ se define como la probabilidad de ocurrencia de un fallo en un tiempo t , y viene dado por la siguiente ecuación:

$$P(t) = 1 - C(t) \quad (8)$$

En la Figura 28 se presentan los resultados obtenidos para cada planta compresora en el año 2022.

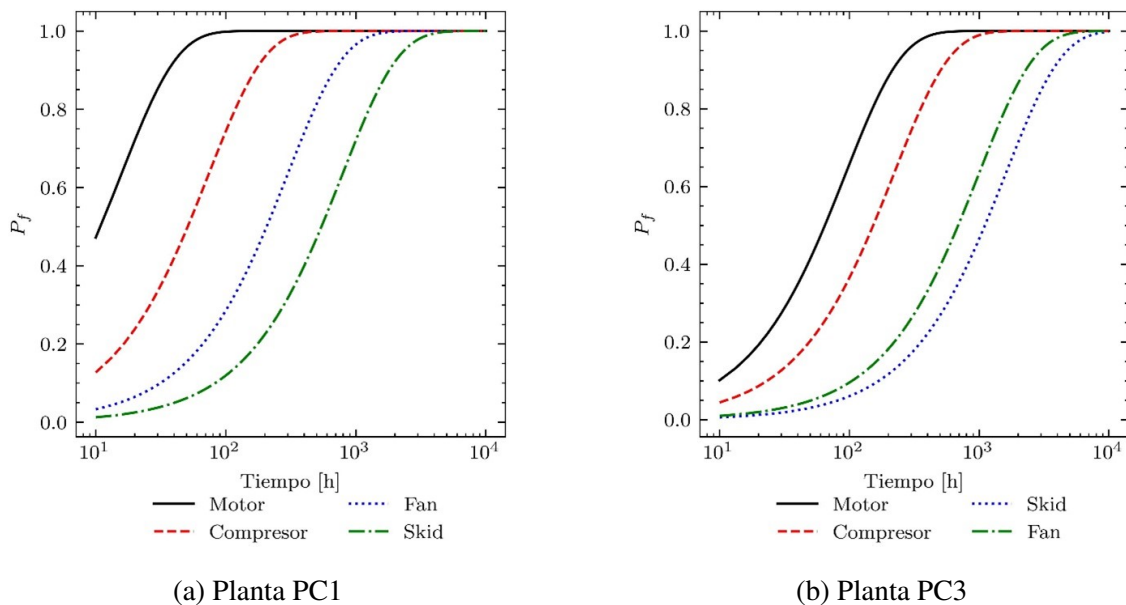


Figura 28. Probabilidad de fallos para cada subsistema por planta (Año: 2022).

Para obtener la Confiabilidad del Motocompresor $C_{MC}(T)$ se consideró la incidencia del fallo de cada subsistema en relación con el resto. Por tal motivo, se contempla un modelo con agrupamientos de componentes en línea. Resultando la confiabilidad total del sistema como el producto de la confiabilidad de cada subsistema $C_i(T)$.

$$C_{MC}(t) = C_{Motor}(t) * C_{Compresor}(t) * C_{Fan}(t) * C_{Skid}(t) \quad (9)$$

En la Figura 29 se presenta las curvas de confiabilidad de ambos sistemas (PC1 y PC3), pudiéndose comparar su comportamiento global. Estas curvas fueron calculadas en base a los datos históricos disponibles. A partir de su análisis, se torna evidente la necesidad de generar un cambio en el sistema de gestión del mantenimiento, con el objetivo de equiparar como mínimo, la confiabilidad de los equipos de PC1 a los de PC3. Esto contribuirá de forma significativa, a garantizar los requisitos del servicio de compresión de gas en el yacimiento.

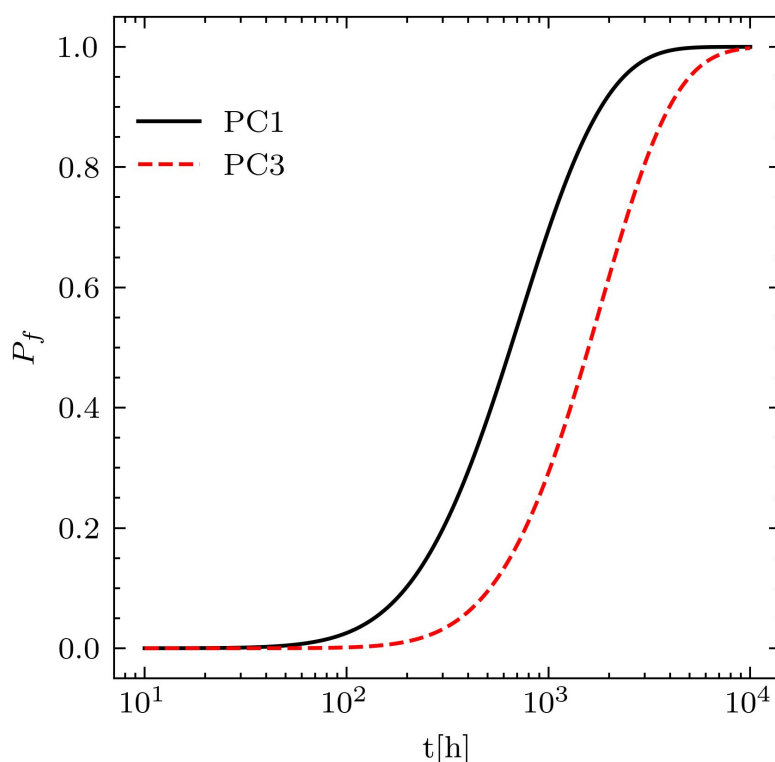


Figura 29. Probabilidad de fallos del sistema de compresión.

Finalmente, se estableció un modelo de confiabilidad para analizar el sistema de compresión de la planta PC1 contemplando distintos modos de operación con el fin de alcanzar tasas de confiabilidad similares a la planta PC3. A tal fin, se debe analizar la cantidad de equipos MC en modo reserva o *stand by*, los cuales permiten establecer sistemas redundantes en forma pasiva de tal forma que ante la falla de un equipo el sistema automáticamente habilite el servicio con otro Motocompresor de reserva. Si se tienen n equipos

MC y $n - 1$ es la cantidad en reserva, el sistema quedará fuera de servicio cuando fallen los n en el tiempo t . Asumiendo que cualquier fallo sobre el elemento interrumpe completamente su funcionamiento, la confiabilidad del sistema viene dada por:

$$C(t)_s = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{[(\lambda t)^i e^{-\lambda t}]}{i!} \quad (10)$$

Se debe destacar que la planta PC3 no cuenta con un equipo MC en reserva, por lo que al fallar al menos un equipo, la misma entra en pérdida de producción.

Para el caso de la planta PC1, en base a los equipos disponibles, se analizan los siguientes escenarios de operación:

- Modo 1: se consideran 4 equipos comprimiendo y 1 equipo en reserva. Para este caso al fallar dos equipos la planta entra en pérdida de producción. Se adopta para el modelo un valor $n = 2$.
- Modo 2: se consideran 3 equipos comprimiendo y 2 equipos en reserva. Para este caso al fallar 3 equipos la planta entra en pérdida de producción. Se adopta para el modelo un valor $n = 3$.
- Modo 3: ídem al modo 2, pero en este caso se tiene como objetivo alcanzar una tasa de fallas idéntica a la correspondiente de los equipos incluidos en PC3.

Los resultados obtenidos para cada uno de los casos analizados se presentan en la Figura 30. En la misma se evidencia una sensible mejora del sistema, si tomamos como objetivo para PC1 los indicadores de PC3.

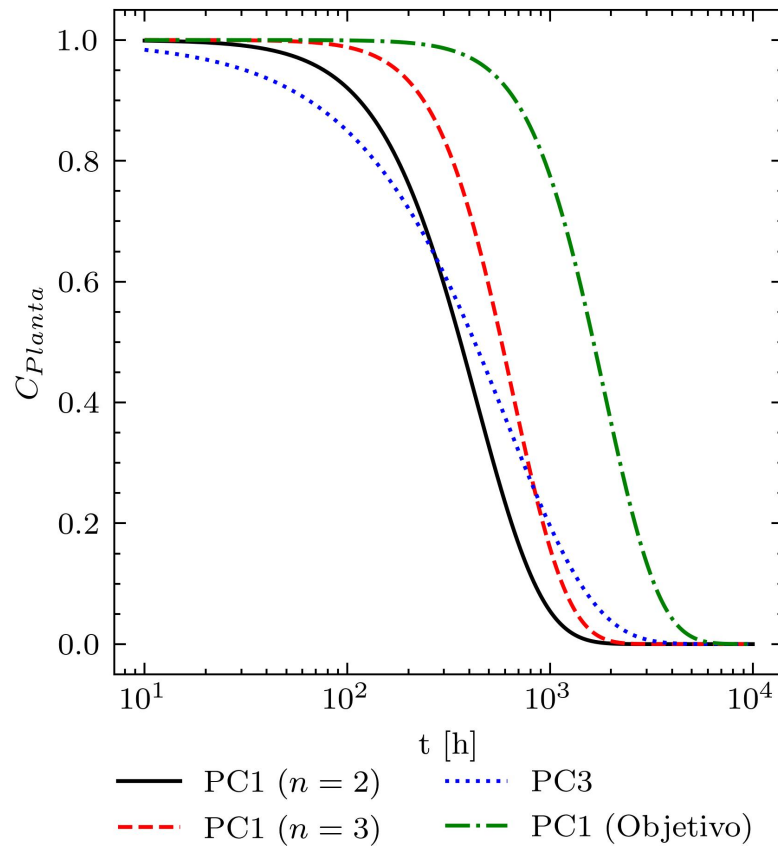


Figura 30. Comparación de diversos escenarios de operación del sistema.

6.2.4. Análisis de Criticidad

El análisis de criticidad de un activo (equipo) y sus componentes, se inicia preguntándose cuál sería el impacto (consecuencias) en caso de que ocurriese un evento de pérdida de la función, sea ésta principal o secundaria. Posteriormente, se identifica si para este equipo existe alguna condición operacional que le permita estar fuera de servicio sin afectación alguna (redundancia), y finalmente, establecer cuán seguido podría ocurrir el evento que conduce a esta pérdida de función (frecuencia). En efecto, la Criticidad Total por Riesgo (CTR) permite cuantificar el riesgo asociado a la falla de un activo, el cual se expresa como el producto de la frecuencia de ocurrencia de la falla (FF), o índice de probabilidad de falla, y su consecuencia (C).

$$CTR = FF \times C \quad (11)$$

La frecuencia de ocurrencia de fallas se obtiene para el número de veces que se repite

un evento considerado como falla en un período de tiempo, de acuerdo a los criterios establecidos en la Tabla 9.

Tabla 9. Frecuencia de fallas.

FF	MTTR	Valor
Alta (>5 fallas por año)	0,2	4
Promedio (entre 2 y 4 fallas por año)	0,6	3
Aceptable (de 1 a 2 fallas por año)	0,8	2
Baja (>1 falla cada dos años)	1,5	1

La consecuencia se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$C = \max. \{IP, IM, ISMA\} \quad (12)$$

Donde:

- IP: Impacto Productivo.
- IM: Impacto en los Costos de Mantenimiento (IM).
- ISMA: Impacto en la Seguridad (S) y el Medio Ambiente (MA).

A continuación, se desarrollan los aspectos contemplados en cada uno de los factores definidos en la Ecuación 12.

1. Impacto Productivo (IP): es el resultado del impacto producido por la pérdida de la función del equipo, considerando el esquema de redundancia de la operación del mismo. Es decir, si se dispone o no de equipos alternos para suplir su función principal. El cálculo de este factor viene dado por la siguiente expresión:

$$IP = IO \times FO \quad (13)$$

Donde:

- Impacto en la Producción/Operación (IO): cuantifica las consecuencias que pudieran generarse sobre el negocio tras presentarse una falla en el equipo objeto del análisis. Este criterio se evalúa, según lo indicado en la Tabla 10, considerando la contribución directa a la línea de producción y la afectación y/o aporte a la producción diferida del sitio.

Tabla 10. Impacto en la Producción/Operación (IO).

Descripción	Valor
Contribución significativa a las pérdidas de producción (tasa de reducción del caudal de producción >10 %).	6
Contribución leve a las pérdidas de producción (tasa de reducción del caudal de producción <10 %).	3
Sin afectación de la producción.	1

- Flexibilidad Operacional (FO): este factor contempla, según lo indicado en la Tabla 11, si la función del equipo puede ser realizada por otra parte del sistema u otro equipo, y la cantidad de equipos en *stand by*.

Tabla 11. Flexibilidad Operacional (FO).

Descripción	Valor
No existe opción de producción o respaldo.	1
Existe opción de respaldo compartido.	2/3
Existe opción de respaldo auxiliar.	1/3

2. Impacto en los Costos de mantenimiento (IM): se refiere a los costos directos de la reparación, necesarios para restaurar la función del equipo bajo análisis.

Tabla 12. Impacto en los Costos de Mantenimiento (IM).

Descripción	Valor
Costo medio de reparación substancial (MCTR >10 % del <i>budget</i> anual).	6
Costo medio de reparación moderado (MCTR 1 a 10 % del <i>budget</i> anual).	3
Costo medio de reparación insignificante (MCTR <1 % del <i>budget</i> anual).	1

3. Impacto en la Seguridad y el Medio Ambiente (ISMA) Cuantifica aspectos o efectos colaterales que pudieran surgir del evento bajo análisis, principalmente los que derivan en:

- Impacto en la Seguridad (S): probabilidad de ocurrencia de muerte o lesiones y/o de eventos catastróficos, al momento de presentarse una falla del activo evaluado.

Tabla 13. Impacto en la Seguridad (S).

Descripción	Valor
Una persona con afecciones irreversibles, o varias con afecciones a la salud reversibles. Caso con lesión registrable con pérdida de tiempo.	6
Una persona con afección reversible, o sobre exposición de varias personas sin afecciones a la salud. Caso con lesión registrable pero sin pérdida de tiempo (Trabajo Restringido y Tratamiento Médico).	3
Sobreexposición de una persona sin afecciones a la salud. Caso con lesiones no registrable (Primer Auxilio).	1

- Impacto en el Medio Ambiente (MA): se refiere a la probabilidad de ocurrencia de emergencias ambientales y/o contaminación (derrames o emisiones), al momento de presentarse una falla del activo evaluado.

Tabla 14. Impacto en el Medio Ambiente (MA).

Descripción	Valor
Daño ambiental que alcanza áreas externas a la instalación afectando ecosistemas comunes.	6
Daño ambiental restringido dentro de los límites de la instalación.	3
No significativo.	1

Finalmente, se calculó la criticidad en base a las consideraciones expuestas previamente. La matriz puede ser consultada a través del enlace web habilitado a tal fin¹. En la misma, los equipos que están señalados con color rojo son los que corresponden a los más críticos en la planta; los identificados con color amarillo corresponden a los medianamente críticos, y aquellos que están en color verde son los que no afectan de manera importante el funcionamiento de la planta. Los equipos críticos y algunos de los medianamente críticos que son importantes para asegurar la disponibilidad operativa de la planta fueron, tenidos en cuenta en la revisión y actualización del plan de mantenimiento que se presenta en la siguiente sección.

6.3. Revisión y actualización del Plan de Mantenimiento

En base al análisis de riesgo, y la jerarquización del mismo para los distintos modos de falla identificados conforme a lo desarrollado en el apartado anterior, se tuvo un panorama más claro y preciso de dónde se requería prestar mayor atención a la hora de realizar la planificación del mantenimiento. En este sentido, se contemplaron las distintas tareas al momento de realizar intervenciones y la periodicidad de las mismas.

A tal fin, se siguieron los lineamientos presentados en el estándar [NORSOK-Z-008 \(2017\)](#) dado que contempla no solo las metodologías de criticidad previamente expuestas, sino que además dentro de sus considerandos incluye un procedimiento para la optimización de programas de mantenimiento para instalaciones nuevas y en servicio. A continuación, se presentan las hojas de rutas actualizadas.

¹<https://www.dropbox.com/scl/fi/f3gt20usfzekd0is1510w/Matriz-de-Criticidad-MC-PC1.xlsx?rlkey=oduw4bzhficztb2kxm8fvh2p0&dl=0>

Tabla 15. Ruta de Mantenimiento Motor Waukesha 7042 GSI MC-PC1.

Centro	Tarea	Operación	Frecuencia (h)			
			1000	2000	4000	8000
PC1	M01	A - Archivos	x	x	x	x
PC1	M02	Registro histórico de mantenimiento	x	x	x	x
PC1	M03	B - Seguridad	x	x	x	x
PC1	M04	Activar permisos de trabajos	x	x	x	x
PC1	M05	Detener la unidad	x	x	x	x
PC1	M06	Realizar el boqueo del equipo	x	x	x	x
PC1	M07	Sen^alizar y asegurar la zona de trabajo	x	x	x	x
PC1	M08	C - Tareas	x	x	x	x
PC1	M09	Preparar repuestos para mantenimiento preventivo	x	x	x	x
PC1	M10	Preparar herramientas para mantenimiento preventivo	x	x	x	x
PC1	M11	Inspeccionar bulones motor	x	x	x	x
PC1	M12	Inspeccionar grampas de fijación	x	x	x	x
PC1	M13	Inspeccionar soportes	x	x	x	x
PC1	M14	Controlar ruidos inusuales	x	x	x	x
PC1	M15	Controlar vibraciones anormales	x	x	x	x
PC1	M18	Inspeccionar fugas (aceite / refrigerante)	x	x	x	x
PC1	M17	Inspeccionar nivel sistema de enfriamiento	x	x	x	x
PC1	M18	Inspeccionar bomba de agua principal	x	x	x	x
PC1	M19	Inspeccionar bomba de agua auxiliar	x	x	x	x
PC1	M20	Ajustar correas bomba agua principal	x	x	x	x
PC1	M21	Ajustar correas bomba agua auxiliar	x	x	x	x
PC1	M22	Inspeccionar estado de <i>tubing</i> de aceite	x	x	x	x
PC1	M23	Chequear presión de combustible	x	x	x	x
PC1	M24	Controlar/ajustar punto de ignición	x	x	x	x
PC1	M25	Chequear presión de precámara	x	x	x	x
PC1	M26	Controlar presión diferencial entre <i>manifolds</i>	x	x	x	x
PC1	M27	Inspeccionar nivel de aceite (cárter)	x	x	x	x
PC1	M28	Verficar presión de aceite motor	x	x	x	x
PC1	M29	Verificar tensión en baterías	-	x	x	x
PC1	M30	Verificar nivel electrolito baterías	-	x	x	x
PC1	M31	Verificar funciones de panel de control	-	x	x	x
PC1	M32	Verificar enclavamientos	-	x	x	x
PC1	M33	Registrar temperatura de <i>damper</i>	-	x	x	x
PC1	M34	Ajustar luz válvulas admisión / escape	-	x	x	x
PC1	M35	Limpiar y lubricar varillas de control	-	x	x	x
PC1	M36	Limpiar y lubricar articulaciones	-	x	x	x
PC1	M37	Inspeccionar cables bujías	-	x	x	x
PC1	M38	Inspeccionar cobertores bujías (<i>cover spark plug</i>)	-	x	x	x
PC1	M39	Inspeccionar bobinas de ignición	-	x	x	x
Pc1	M40	Inspeccionar arnés de ignición primaria	-	x	x	x

Tabla 16. Ruta de Mantenimiento Motor Waukesha 7042 GSI MC-PC1 (continuación).

Centro	Tarea	Operación	Frecuencia (h)			
			1000	2000	4000	8000
PC1	M41	Reemplazar bujías	-	x	x	x
PC1	M42	Ajustar luz de bujías	-	x	x	x
PC1	M43	Reemplazar filtros de aire	-	x	x	x
PC1	M44	Verificar sistema de prelubricación	-	x	x	x
PC1	M45	Calibrar cec/dsm	-	x	x	x
PC1	M46	Inspeccionar funcionamiento de <i>gobemor</i>	-	x	x	x
PC1	M47	Limpiar / inspeccionar <i>dampers</i>	-	-	x	x
PC1	M48	Limpiar filtro respiradero de cárter	-	-	x	x
PC1	M49	Limpiar tapones magnéticos	-	-	x	x
PC1	M50	Reemplazar correas bomba de agua principal	-	-	x	x
PC1	M51	Reemplazar correas bomba de agua auxiliar	-	-	x	x
PC1	M52	Reemplazar cables bujías	-	-	-	x
PC3	M53	Reemplazar capuchón bujías	-	-	-	x
PC1	M54	Reemplazar bobinas de ignición	-	-	-	x
PC1	M55	Reemplazar arnés de ignición primaria	-	-	-	x
PC1	M56	Cambio de aceite	-	-	-	x
PC1	M57	Drenar intercambiador de aceite	-	-	-	x
PC1	M58	Reemplaza filtro de aceite (<i>strainer</i>)	-	-	-	x
PC1	M50	Reemplazar filtro de aceite	-	-	-	x
PC1	M51	Reemplazar <i>oring</i> tapa fitro de aceite	-	-	-	x
PC1	M61	Tomar valores de recesión de válvulas	-	-	-	x
PC1	M62	Revisar termocuplas del motor	-	-	-	x
PC1	M63	Reemplazar aceite hidráulico de <i>governor</i>	-	-	-	x
PC1	M64	Inspección de turbocompresor	-	-	-	x
Pc1	M65	Chequear controlador de nivel aceite	-	-	-	x
PC1	M66	Limpiar filtro controlador nivel aceite	-	-	-	x
PC1	M67	Chequear juntas y diafragma carburadores	-	-	-	x
PC1	M68	Chequear y calibrar <i>wastegate</i>	-	-	-	x
PC1	M69	Carburar la unidad	x	x	x	x
PC1	M70	Limpiar unidad	x	x	x	x
PC1	M71	Registrar horómetro	x	x	x	x
PC1	M72	C - Finalización de las tareas	x	x	x	x
PC1	M73	Orden y limpieza del lugar de trabajo	x	x	x	x
PC1	M74	Cerrar permisos de trabajos	x	x	x	x
PC1	M75	D - Notificaciones	x	x	x	x
PC1	M76	Notificación 1.000 h	x	-	-	-
PC1	M77	Notificación 2.000 h	-	x	-	-
PC1	M78	Notificación 4.000 h	-	-	x	-
PC1	M79	Notificación 8.000 h	-	-	-	x

Tabla 17. Ruta de Mantenimiento Compresor Ariel JGK4 MC-PC1.

Centro	Tarea	Operación	Frecuencia (h)			
			1000	2000	4000	8000
PC1	C01	A - Archivos	x	x	x	x
PC1	C02	Registro historial de mantenimiento	x	x	x	x
PC1	C03	B - Seguridad	x	x	x	x
PC1	C04	Activar permisos de trabajos	x	x	x	x
PC1	C05	Detenerla unidad	x	x	x	x
PC1	C06	Realizar el bloqueo del equipo	x	x	x	x
PC1	C07	Señalizar y asegurar la zona de trabajo	x	x	x	x
PC1	C08	C - Tareas	x	x	x	x
PC1	C09	Preparar repuestos para mantenimiento preventivo	x	x	x	x
PC1	C10	Preparar herramientas para mantenimiento preventivo	x	x	x	x
PC1	C11	Inspeccionar bulones motor	x	x	x	x
PC1	C12	Inspeccionar grampas fijación	x	x	x	x
PC1	C13	Inspeccionar soportes	x	x	x	x
PC1	C14	Controlar ruidos inusuales	x	x	x	x
PC1	C15	Controlar vibraciones anormales	x	x	x	x
PC1	C16	Controlar temperatura de válvulas	x	x	x	x
PC1	C17	Controlar presión diferencial filtros de aceite	x	x	x	x
PC1	C18	Controlar presión diferencial filtros de succión	x	x	x	x
PC1	C19	Limpiar filtro de succión (si fuera necesario)	x	x	x	x
PC1	C20	Controlar fugas (gas y aceite)	x	x	x	x
PC1	C21	Controlar nivel aceite caja lubricadora	x	x	x	x
PC1	C22	Ajustar tasa de lubricación (cilindros)	x	x	x	x
PC1	C23	Inspeccionar nivel de aceite cárter	x	x	x	x
PC1	C24	Inspeccionar mangueras	x	x	x	x
PC1	C25	Inspeccionar abrazaderas	x	x	x	x
PC1	C26	Inspeccionar estado de <i>tubing</i> de aceite	x	x	x	x
PC1	C27	Verificar presión de aceite	x	x	x	x
PC1	C28	Revisar <i>set</i> de alarmas de panel	x	x	x	x
PC1	C29	Inspeccionar estado/fugas empaquetaduras gas	-	x	x	x
PC1	C30	Inspeccionar estado/fugas empaquetaduras aceite	-	x	x	x
PC1	C31	Engrasar el tornillo del vvcp	-	x	x	x
PC1	C32	Controlar fugas de válvulas compresoras	-	x	x	x
PC1	C33	Controlar puntos de lubricación forzada	-	x	x	x
PC1	C34	Inspección visual acople motor/compresor	-	x	x	x
PC1	C35	Controlar estado de sistema de lubricación forzada	-	-	x	x
PC1	C36	Controlar bloque distribución de aceite	-	-	x	x
PC1	C37	Controlar estado de <i>dinft</i> (<i>no flow switch</i>)	-	-	x	x
PC1	C38	Controlar estado sistema lubricación aceite	-	-	x	x
PC1	C39	Inspeccionar cañerías aceite (principal)	-	-	x	x
PC1	C40	Inspeccionar fugas en bomba de aceite	-	-	x	x

Tabla 18. Ruta de Mantenimiento Compresor Ariel JGK4 MC-PC1 (continuación).

Centro	Tarea	Operación	Frecuencia (h)			
			1000	2000	4000	8000
PC1	C41	Verificar estado bomba aceite	-	-	X	X
PC1	C42	Inspeccionar fugas en bomba prelubricadora	-	-	X	X
PC1	C43	Verificar estado bomba prelubricadora	-	-	X	X
PC1	C44	Verificar fugas en <i>pockets</i>	-	-	X	X
PC1	C45	Ajustar espacio libre del vvcv	-	-	X	X
PC1	C46	Inspeccionar venteos de <i>packing gas</i>	-	-	X	X
PC1	C47	Inspeccionar aros (pistones compresores)	-	-	-	X
PC1	C48	Reemplazar <i>breather</i> cárter	-	-	-	X
PC1	C49	Inspeccionar anclajes de cilindros compresores	-	-	-	X
PC1	C50	Inspeccionar malla filtrante de bomba aceite	-	-	-	X
PC1	C51	Reemplazar aceite compresor	-	-	-	X
PC1	C52	Cambiar filtro de aceite	-	-	-	X
PC1	C53	Limpiar <i>strainer</i> metálico aceite	-	-	-	X
PC1	C54	Controlar torque rigidizadores de <i>frame</i>	-	-	-	X
PC1	C55	Controlar torque soportes <i>frame / skid</i>	-	-	-	X
PC1	C56	Verificar alineación de motor/compresor	-	-	-	X
PC1	C57	Chequear controlador de nivel aceite	-	-	-	X
PC1	C58	Limpiar filtro controlador nivel aceite	-	-	-	X
PC1	C59	Inspeccionar transmisión de bomba de aceite	-	-	-	X
PC1	C60	Inspeccionar cadena accionamiento bomba de aceite	-	-	-	X
PC1	C61	Inspeccionar piñones accionamiento bomba de aceite	-	-	-	X
PC1	C62	Inspeccionar piñones tensor bomba de aceite	-	-	-	X
PC1	C63	Verificar tolerancia cojinete de bancada	-	-	-	X
PC1	C64	Registrar datos cojinete de bancada	-	-	-	X
PC1	C65	Verificar tolerancia cojinete de biela	-	-	-	X
PC1	C66	Registrar datos cojinete de biela	-	-	-	X
PC1	C67	Verificar tolerancia axial cigüeñal	-	-	-	X
PC1	C68	Registrar datos juego axial cigüeñal	-	-	-	X
PC1	C69	Inspeccionar huelgo entre cruceta y guía	-	-	-	X
PC1	C70	Registrar datos de huelgo crusetta / guía	-	-	-	X
PC1	C71	Inspeccionar vástagos de pistones	-	-	-	X
PC1	C72	Registrar horómetro	X	X	X	X
PC1	C73	D - Finalización de las tareas	X	X	X	X
PC1	C74	Orden y limpieza del lugar de trabajo	X	X	X	X
PC1	C75	Cerrar permisos de trabajos	X	X	X	X
PC1	C76	E - Notificaciones	X	X	X	X
PC1	C77	Notificación 1.000 h	X	-	-	-
PC1	C78	Notificación 2.000 h	-	X	-	-
PC1	C79	Notificación 4.000 h	-	-	X	-
PC1	C80	Notificación 8.000 h	-	-	-	X

Tabla 19. Ruta de Mantenimiento Cooler MC-PC1.

Centro	Tarea	Operación	Frecuencia (h)			
			1000	2000	4000	8000
PC1	F01	A - Archivos	-	X	X	X
PC1	F02	Registro histórico de mantenimiento	-	X	X	X
PC1	F03	B - Seguridad	-	X	X	X
PC1	F04	Activar permisos de trabajos	-	X	X	X
PC1	F05	Detener la unidad	-	X	X	X
PC1	F06	Realizar el bloqueo del equipo	-	X	X	X
PC1	F07	Señalizar y asegurar la zona de trabajo	-	X	X	X
PC1	F08	C - Tareas	-	X	X	X
PC1	F09	Preparar repuestos para mantenimiento preventivo	-	X	X	X
PC1	F10	Preparar herramientas para mantenimiento preventivo	-	X	X	X
PC1	F11	Engrase rodamientos de eje principal y tensor de correas	-	X	-	-
PC1	F12	Control de tensión de correas	-	X	-	-
PC1	F13	Control de rodamientos de eje principal y tensores	-	X	-	-
PC1	F14	Control de anclajes y ajuste de protecciones (rejillas)	-	-	X	-
PC1	F15	Control de sistema de escape (soportes, fuelles, silenciador)	-	-	X	-
PC1	F16	Control de movimiento de cortinas	-	-	-	X
PC1	F17	Lavado externo aleteado de tubos	-	-	-	X
PC1	F18	Control de ángulos de palas	-	-	-	X
PC1	F19	Probar/ajustar <i>switches</i> de vibración <i>cooler</i>	-	-	-	X
PC1	F20	Limpieza de indicadores de nivel en compensadores de refrigerante	-	-	-	X
PC1	F21	Reemplazo de correas de <i>fan</i>	-	-	-	X
PC1	F22	Probar/ajustar <i>switches</i> de bajo nivel de líquido refrigerante	-	-	-	X
PC1	F23	Reemplazo de tapas de compensadores de refrigerante	-	-	-	X
PC1	F24	D - Finalización de las tareas	X	X	X	X
PC1	F25	Orden y limpieza del lugar de trabajo	X	X	X	X
PC1	F26	Cerrar permisos de trabajos	X	X	X	X
PC1	F27	E - Notificaciones	X	X	X	X
PC1	F28	Notificación 1.000 h	X	-	-	-
PC1	F29	Notificación 2.000 h	-	X	-	-
PC1	F30	Notificación 4.000 h	-	-	X	-
PC1	F31	Notificación 8.000 h	-	-	-	X

Tabla 20. Ruta de Mantenimiento Skid MC-PC1.

Centro	Tarea	Operación	Frecuencia (h)			
			1000	2000	4000	8000
PC1	S01	A - Archivos	x	x	x	x
PC1	S02	Registro histórico de mantenimiento	x	x	x	x
PC1	S03	B - Seguridad	x	x	x	x
PC1	S04	Activar permisos de trabajos	x	x	x	x
PC1	S05	Detener la unidad	x	x	x	x
PC1	S06	Realizar el bloqueo del equipo	x	x	x	x
PC1	S07	Señalizar y asegurar la zona de trabajo	x	x	x	x
PC1	S08	C-Tareas	x	x	x	x
PC1	S09	Preparar repuestos para mantenimiento preventivo	x	x	x	x
PC1	S10	Preparar herramientas para mantenimiento preventivo	x	x	x	x
PC1	S11	Inspeccionar visores de nivel (<i>scrubbers</i>)	x	x	x	x
PC1	S12	Inspeccionar fugas en enfriador de aceite	x	-	-	-
PC1	S13	Inspeccionar estado tablero general	x	-	-	-
PC1	S14	Inspeccionar pérdidas de líquido/aire en válvulas de descarga de <i>scrubbers</i>	x	-	-	-
PC1	S15	Inspeccionar venteos en válvulas PSV	-	x	-	-
PC1	S16	Inspeccionar estado manómetros de lubricación principal y forzada	-	x	-	-
PC1	S17	Verificar funcionamiento compensador niveles de aceite motor-compresor	-	-	x	-
PC1	S18	Probar funcionamiento válvulas de descarga <i>scrubber</i>	-	-	x	-
PC1	S19	Probar funcionamiento <i>switches</i> de nivel	-	-	x	-
PC1	S20	Limpieza válvulas tres vías de arranque y prelubricación	-	-	x	-
PC1	S21	Probar/ajustar <i>switches</i> de vibración motor-compresor	-	-	-	x
PC1	S22	Probar paro por pulsadores emergencia motor-compresor	-	-	-	x
PC1	S23	Calibración PSV	-	-	-	x
PC1	S24	Controlar fugas en todas las bridas y conexiones del equipo	-	-	-	x
PC1	S25	Calibración de termocuplas	-	-	-	x
PC1	S26	Calibración transmisores de presión PXT	-	-	-	x
PC1	S27	D - Finalización de las tareas	x	x	x	x
PC1	S28	Orden y limpieza del lugar de trabajo	x	x	x	x
PC1	S29	Cerrar permisos de trabajos	x	x	x	x
PC1	S30	E - Notificaciones	x	x	x	x
PC1	S31	Notificación 1.000 h	x	-	-	-
PC1	S32	Notificación 2.000 h	-	x	-	-
PC1	S33	Notificación 4.000 h	-	-	x	-
PC1	S34	Notificación 8.000 h	-	-	-	x

Finalmente, en el Plan de Mantenimiento actualizado se incluyeron las siguientes acciones complementarias:

1. Mejorar eficiencia volumétrica / vibraciones: se realizó una prueba de reconfiguración de los cilindros de la tercera etapa. A tal fin, se instalaron las válvulas de succión y descarga para convertir a doble efecto dichos cilindros. En la prueba realizada sobre el MC-06, se lograron picos 175.000 m³/d, lo que representa un incremento del 40 % del caudal. Esta modificación, requiere que se trabaje en las válvulas de la tercera etapa, dado que se observó que con el incremento de la temperatura ambiente (por ejemplo, en verano) las temperaturas de la descarga alcanzan valores próximos al límite de paro. Se evidenció un buen funcionamiento cuando se mantiene una baja temperatura ambiente (invierno). También se observan mejoras en cuanto al nivel de vibraciones.
 2. Fugas repetitivas de fluidos: en base a la lista de hallazgos, se define el reemplazo de flexibles y uniones dobles en líneas de aceite y refrigerante. Se establece que estos componentes deben ser reemplazados cada 8.000 h.
 3. Ejecución de tareas de mantenimiento de 8.000 h a compresores: con la recepción de un *stock* de repuestos y nuevos acuerdos con proveedores para la reparación de componentes reparables, se planifican los mantenimientos de 8.000 h según la ruta de mantenimiento actualizada. Esto implica el reemplazo de todas las válvulas, aros y *packing* del compresor. De esta manera se aborda una de las principales causas de paros “fallas en válvulas de compresor” y se mejora la eficiencia volumétrica de los equipos.
 4. Vibraciones: en base a los resultados obtenidos en el MC-06, en una segunda etapa, se analiza la alternativa de modificar el comportamiento dinámico del sistema incrementando la masa del conjunto. A tal fin, se propone inyectar cemento en el *skid* del equipo. Se contrató un servicio externo para la realización de control de vibraciones y de pulsaciones. Actualmente, se encuentra en proceso el plan de recomendaciones que surgieron de ambos servicios con un avance global del 85 %. Se comprobó, que operando los equipo por encima de las 1000 rpm, disminuyen con-
-

siderablemente los niveles de vibraciones. Se comunicaron estos hallazgos al sector operaciones para que mantenga este régimen de revoluciones en funcionamiento.

5. Frecuencia de toma de datos: con personal de mantenimiento y operaciones, se recomienda implementar cuatro recorridas diarias de toma de datos e inspección sobre los equipos MC. Esta decisión tiene como objetivo controlar los parámetros operativos y anticipar eventuales fallas.
6. Consignación de equipos: se revaluaron los trabajos que se realizan sobre el MC. Por ejemplo: cambio de válvulas, cambios transmisores de presión, manómetros, entre otros. Estos trabajos requieren la asignación de un gran tiempo y personal extra para consignar el equipo. Se deben tomar medidas de control extra para garantizar un trabajo seguro (ver Figura 31).

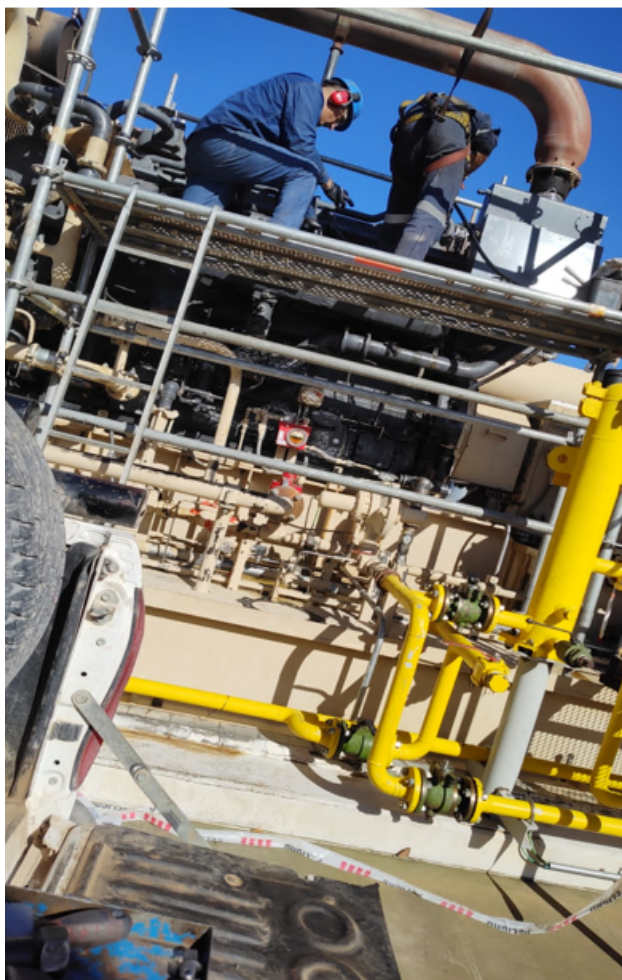


Figura 31. Consignación de equipos.

7. Verificación de activación de alarmas: se actualizaron las planillas de verificación de alarmas y paros de los equipos, de acuerdo al listado de alarmas actualizado. Se estableció una frecuencia de verificación de la activación y estado de las señales y alarmas, en función de las pruebas de marcha de los equipos. Se propone realizar una prueba de marcha de los equipos MC una vez al mes mientras permanezcan en reserva, y en el cual también correspondería un chequeo general del estado.
 8. Válvulas de proceso: se planificó el control y normalización de las válvulas de las líneas de gas de proceso, gas de instrumentación y arranque dentro del patín del MC. Actualmente, se encuentra en ejecución el MC-01, dentro de las tareas se contempló el retiro de las válvulas de proceso y su reparación.
 9. Soportes y accesorios: se realizó la instalación, en el MC-01, de los soportes faltantes, modificación de los soportes de los botellones de descarga de tercera etapa y reemplazo de los tapones de líneas.
 10. Instalaciones de mantenimiento: con el propósito de mejorar la seguridad al momento de realizar los trabajos específicos, el *comfort* humano y la calidad, se renovaron los talleres ubicados en el yacimiento (ver Figura 32). Entre las principales tareas realizadas podemos mencionar las siguientes:
 - Instalación eléctrica nueva.
 - Mejora de la iluminación en los diferentes puestos de trabajo.
 - Aislación térmica de paredes y techos con poliuretano expandido.
 - Reemplazo del sistema de calefacción.
 - Instalación de la cartelería de seguridad.
 - Construcción de una sala de pintura.
 - Construcción de un almacén externo para materiales y repuestos.
 - Instalación de líneas de aire comprimido con acoples rápidos.
 - Reemplazo del compresor de aire.
 - Adquisición de una unidad de arenado, una unidad de lavado y herramientas de mano e hidráulicas.
-



Figura 32. Vista general del taller.

11. Almacén:

- *Stock* de repuestos: se estimaron los repuestos necesarios para cumplir con un año de mantenimiento preventivo. Se incluye, la revisión de la lista de Órdenes de Compra (OC) pendientes y los tiempos de entrega asociados.
- Provisión de repuestos: se modificaron los Acuerdos Marcos (AM) existentes con los proveedores para la provisión de repuestos y se gestionaron otros nuevos.
- Catálogo: se codificaron nuevos materiales y revisaron más de 100 *ítems* en el sistema de informático de catalogación de materiales.
- Carga en el sistema SAP: se redefinieron *stocks* mínimos en el almacén del yacimiento y se mejoraron las descripciones de materiales.
- Repuestos alternativos: ante las demoras en las entregas de repuestos originales (por ejemplo, filtros de aceite y de aire), se desarrollaron nuevos proveedo-

res para la provisión de repuestos alternativos que cumplan con los estándares de calidad requeridos.

- Reparables: se identificaron componentes reparables y proveedores que pueden brindar el servicio de reparación. Se coordinó con el área de Suministros una estrategia de ejecución. Por ejemplo: reparación de tapas de cilindro, intercambiadores, válvulas de compresor, entre otros.

12. Registros Históricos de Mantenimiento: se implementaron registros adicionales sobre las tareas de mantenimiento realizadas sobre el compresor y registros históricos de mantenimiento (paso previo a su carga en SAP). Tiene como objetivo tener un mejor control de la información con un historial de fácil acceso.
 13. Lista de hallazgos: se implementó un lista de control en conjunto con el personal tercerizado de mantenimiento y el sector de Operaciones y Mantenimiento de la Organización. Esta lista contiene los principales desvíos observados semanalmente por todas las partes involucradas. Se clasifican según la especialidad, se genera el aviso y se cargan las novedades en la programación semanal.
 14. Parte diario: se amplió el listado de fallas disponibles en el parte diario. Con esta acción, se pretende identificar mejor a las fallas, logrando mayor certeza en la identificación de las mismas.
 15. Plan de capacitación: se le solicitó a la empresa encargada del mantenimiento de los activos, que certifique la experiencia de su personal y que desarrolle un plan de capacitaciones acorde a los estándares de mantenimiento de los activos.
-

6.4. Control y Seguimiento del Mantenimiento

Históricamente, las órdenes de mantenimiento se generaban según la programación existente en el sistema SAP, dado que este programa constituye la base para el control y seguimiento de los procesos de mantenimiento. Las órdenes se cargan de acuerdo al año calendario, sin tener en cuenta las horas de funcionamiento de los equipos. En este documento se especifican las tareas del plan de mantenimiento para cada equipo, sin contar con un documento estándar que permita que los mantenedores puedan registrar lo siguiente: las tareas, fallas detectadas, mediciones y valores límites de los parámetros a controlar, así como visualizar historiales de mantenimiento del equipo, entre otros aspectos.

En la actualidad, no se dispone de una base de datos propia, estructurada con registros de mantenimiento, lo que ha requerido la tarea de resolver diversas cuestiones a partir de la experiencia de cada miembro del equipo de mantenimiento.

Considerando el Control y la Supervisión del Mantenimiento como herramientas fundamentales para el mantenimiento de los activos de la compañía, se sugiere la creación de nuevos registros de mantenimiento. Por ejemplo, se puede utilizar la planilla de registros de mantenimiento del compresor Alternativos Ariel, específicamente modelos JGK y JGD, que se incluirán en las órdenes de SAP, estableciendo un estándar de control sobre las tareas de mantenimiento. Los que podrán mantenerse en la base de datos propia, permitiendo el seguimiento de determinados parámetros y generar KPI's. Asimismo, se altera la metodología de programación de las ordenes de SAP, las cuales serán emitidas en función del horómetro de los equipos.

En la era actual de la transformación digital, la adopción de plataformas tecnológicas innovadoras emerge como una estrategia clave para potenciar la gestión de mantenimiento. En este contexto, la implementación de nuevas plataformas digitales representa un paso significativo hacia la eficiencia operativa, al permitir el seguimiento en línea de todas las actividades de mantenimiento.

Al aprovechar estas herramientas digitales, se logra una mayor visibilidad y control sobre los procesos de mantenimiento. La capacidad de monitorear en tiempo real cada fase de las operaciones de mantenimiento, no solo optimiza la supervisión, sino que también facilita la toma de decisiones ágiles y fundamentadas. La información en línea posibilita

una respuesta inmediata a cambios en las condiciones o requerimientos, lo que contribuye a minimizar tiempos muertos y a maximizar la eficiencia de las operaciones de mantenimiento.

Además, la implementación de plataformas digitales no solo mejora la eficiencia, sino que también facilita la planificación estratégica a largo plazo. La recopilación de datos en tiempo real sobre el desempeño de los activos y la ejecución del mantenimiento, proporciona una base sólida para análisis retrospectivos y predictivos. Esta capacidad analítica permite identificar tendencias, anticipar posibles problemas y, en última instancia, adoptar un enfoque proactivo para el mantenimiento preventivo.

La aplicación de estas plataformas digitales no solo transforma la forma en que se ejecutan las actividades de mantenimiento, sino que también sienta las bases para una gestión de activos más eficiente y sostenible en el futuro. La conectividad en línea y la accesibilidad remota facilitan una supervisión continua, lo que contribuye a la optimización constante de los procesos, y al logro de niveles más altos de eficiencia operativa en el mantenimiento de activos.

6.5. Análisis Económico

En este trabajo, también se planteó la necesidad de comparar dos opciones de compresión de gas, como ser utilizar los equipos propios (PC1) o alquilados (PC3). A tal fin en esta sección, se realiza un análisis de los costos operativos de los activos durante su vida útil considerando las siguientes opciones:

- Opción 1: se procede a la compresión de gas mediante el uso de la flota de equipos MC de la planta PC1, y a la cancelación del contrato de compresión externo existente.
- Opción 2: en virtud del excelente desempeño del Contratista (PC3), prescindir de los equipos propios, y se continúe con el servicio externo.

En el caso de PC3 (*rental*), los costos incluyen la provisión de los equipos, la mano de obra de operación y mantenimiento, repuestos y consumibles. El gas combustible es provisto por la productora. Este servicio debe garantizar una disponibilidad mecánica del 97 %. En caso de falla se pone en servicio uno o dos equipos de PC1. El abono es fijo,

con un contrato que tiene una duración de cinco años con vencimiento el 01 de Enero de 2024. El contrato es pautado en dólares, y se prevé un incremento del 35 % en caso de renovación por cinco años más. Esta planta puede comprimir 450.000 m³/día con tres equipos MC de 150.000 m³/d de capacidad y 1.350 hp por equipo. A partir del 2024, se espera como máximo el caudal mencionado, manteniéndose este suministro hasta el año 2030 cuando finaliza la concesión del yacimiento.

La planta PC1 posee cinco equipos de 120.000 m³/d y cada uno con 1.480 hp de potencia. Es decir, requiere de cuatro MC para poder comprimir los 450.000 m³/d requeridos. Sin embargo, mediante la reconfiguración de los equipos (*revamp*), específicamente modificando la configuración de las válvulas del compresor, se puede incrementar la capacidad de compresión a 165.000 m³/d. Las mejoras obtenidas, se encuentran contempladas en el análisis del costo del ciclo de vida de la instalación. En tal caso, se podría comprimir lo requerido con tres equipos, y además, disponer de dos equipos más de reserva, lo que otorgaría mayor confiabilidad al sistema.

A continuación, se presenta un análisis económico comparativo, entre las dos opciones referentes a las modalidades de compresión de gas previamente presentadas. El período de análisis, se centra en los años que restan para la finalización de la concesión del yacimiento, periodo en el cual la productora tendrá a su cargo las operaciones del mismo

El volumen de producción de gas, se fija en un valor de 450.000 m³/día para los próximos años. Dado que este es el caudal de venta, en el análisis solo se evalúa el beneficio asociado al ahorro en el costo operativo (OPEX) a lo largo del tiempo, ya que ambas opciones, en principio, generan el mismo flujo de ingresos por venta de gas.

En relación a la inversión de capital (CAPEX), ambas instalaciones se encuentran instaladas y en funcionamiento. No se requiere la adquisición de nuevos equipos, la construcción de nuevas instalaciones, ni la contemplación de costos de puesta en marcha u otros recursos. Sin embargo, para mantener la competitividad de PC1, hasta el final de la concesión, se requieren inversiones destinadas a mejorar el estándar de emisiones, la confiabilidad y la *performance* de los equipos, para lo cual es necesario un *revamp* de los compresores, como se indicó anteriormente. En la Tabla 21, se encuentra la estimación de los costos requeridos en el caso de la Planta PC1.

Tabla 21. CAPEX Planta PC1.

Concepto	1er. Año	2do. Año
Overhaul proyectado (incluye revamp)	900.000	500.000
Mejoras-Adecuaciones	500.000	400.000
Servicios de terceros	900.000	200.000
Costo Total [U\$D]	2.300.000	1.100.000

Los costos operativos de PC1 (ver Tabla 22), para los cinco equipos MC, contempla que la Mano de Obra especializada requerida, será cubierta con personal contratado asignado a la operación de la Planta de Tratamiento de Gas (PTG).

Tabla 22. Costo de Mantenimiento Anual Planta PC1.

Concepto	Preventivo	Correctivo	Total
Reparación del Motor	101.373	15.206	116.579
Reparación del Compresor	40.679	6.102	46.781
Lubricantes	113.331	11.333	124.665
Líquido Refrigerante	20.793	2.709	22.872
Contrato de Mantenimiento	20.746	63.271	84.017
Servicios de terceros	10.941	10.941	21.881
Costo Total Global[U\$D/Año]	307.863	108.932	416.795
Costo Total por Equipo[U\$D/Año]	61.573	21.786	83.359

En las Tablas 23 y 24, se presentan los costos del ciclo de vida para cada una de las opciones de compresión previamente planteadas. En la Figura 22, se representan las proyecciones realizadas, identificando el ahorro proyectado al optar por la Opción 1.

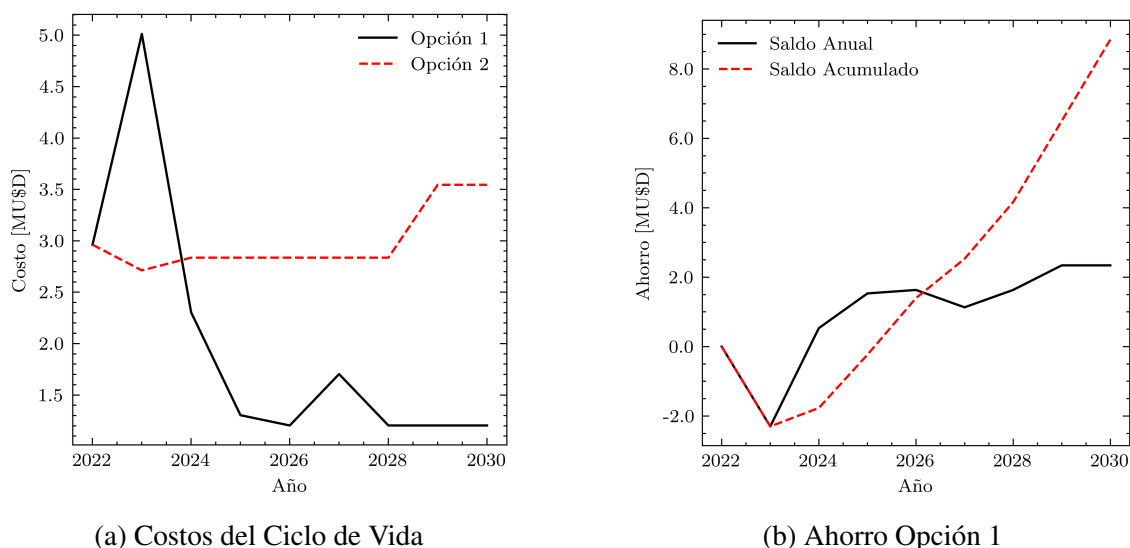


Figura 33. Análisis económico.

Tabla 23. Costos Ciclo de Vida (Opción 1).

Concepto	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Cantidad de equipos (PC1)	1	1	3	3	3	3	3	3	3	n/a
Costo de Mantenimiento (PC1)	83.359	83.359	250.077	250.077	250.077	250.077	250.077	250.077	250.077	1.917.259
Costo del Gas Combustible (PC1) ^(*)	317.741	317.741	953.222	953.222	953.222	953.222	953.222	953.222	953.222	7.308.038
<i>Overhaul</i> proyectado (PC1)	0	900.000	500.000	0	0	500.000	0	0	0	1.900.000
Mejoras en la instalación (PC1)	150.000	500.000	400.000	0	0	0	0	0	0	1.050.000
Servicios de terceros (PC1)	150.000	900.000	200.000	100.000	0	0	0	0	0	1.300.000
Cantidad de equipos (PC3)	3	3	0	0	0	0	0	0	0	n/a
<i>Rental</i> (PC3)	1.500.000	1.500.000	0	0	0	0	0	0	0	3.000.000
Costos del Gas Combustible (PC3) ^(*)	810.950	810.950	0	0	0	0	0	0	0	1.621.901
Total [U\$D/Año]	2.962.050	5.012.050	2.303.300	1.303.300	1.203.300	1.703.300	1.203.300	1.203.300	1.203.300	18.097.198

Tabla 24. Costos Ciclo de Vida (Opción 2).

Concepto	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Cantidad de equipos (PC1)	1	1	0	0	0	0	0	0	0	n/a
Costo de Mantenimiento (PC1)	83.359	83.359	0	0	0	0	0	0	0	168.718
Costo del Gas Combustible (PC1) ^(*)	317.741	317.741	0	0	0	0	0	0	0	635.482
<i>Overhaul</i> proyectado (PC1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mejoras en la instalación (PC1)	150.000	0	0	0	0	0	0	0	0	150.000
Servicios de terceros (PC1)	100.000	0	0	0	0	0	0	0	0	100.000
Cantidad de equipos (PC3)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	n/a
<i>Rental</i> (PC3)	1.500.000	1.500.000	2.025.000	2.025.000	2.025.000	2.025.000	2.025.000	2.733.750	2.733.750	18.592.500
Costos del Gas Combustible (PC3) ^(*)	810.950	810.950	810.950	810.950	810.950	810.950	810.950	810.950	810.950	7.298.554
Total [U\$D/Año]	2.962.050	2.712.050	2.835.950	2.835.950	2.835.950	2.835.950	2.835.950	3.544.700	3.544.700	26.943.253

(*) Para el cálculo del consumo de gas por equipo se tomó como referencia el valor del gas combustible en 0,13 U\$D/m³, siendo el consumo por equipo de 6.700 m³/día y 5.700 m³/día para PC1 y PC3, respectivamente.

7. REFLEXIONES FINALES

En el transcurso de este proyecto, se ha focalizado en la implementación de un SGM, fundamentado en un enfoque de GA, con el objetivo de abordar de manera integral el entorno operativo específico de la Organización. Se ha dado una atención especial, a la configuración de un circuito de comunicación e información efectivo, orientado a registrar de manera simple las actividades relacionadas con el mantenimiento.

Este enfoque estratégico, ha posibilitado la definición de la arquitectura de una base de datos, que sirve como base para la extracción de indicadores representativos. Estos indicadores son esenciales para evaluar el rendimiento del sistema de gestión, fomentando así una cultura de mejora continua en toda la Organización.

Dada la relevancia de contar con herramientas tecnológicas avanzadas, se considera prudente explorar alternativas para la migración del SGM desarrollado. Esto incluye la posibilidad de integrarlo con el sistema SAP para cumplir con los requisitos particulares de la Organización. Asimismo, se contempla la opción de desarrollar una aplicación a medida, diseñada específicamente para integrar de manera óptima todos los procesos involucrados en el mantenimiento.

Esta estrategia de exploración de alternativas tecnológicas, refleja el compromiso continuo con la eficiencia operativa, y la búsqueda constante de soluciones que se ajusten con precisión a las necesidades particulares de la Organización. La adopción de herramientas tecnológicas más avanzadas, no solo potenciará la gestión del mantenimiento, sino que también situará a la Organización a la vanguardia de las prácticas operativas eficientes y adaptables.

Conforme al análisis económico, se concluye desde una perspectiva de rentabilidad, que la opción 1 se presenta como una alternativa viable y estratégica. Por lo tanto, se recomienda seguir adelante con la implementación del *overhaul* de los equipos de PC1, incluyendo el *revamp*, con el objetivo de prescindir de la contratación de servicios externos de compresión de gas. Este enfoque no solo contribuirá al aumento del valor de los activos, sino que también fortalecerá la confiabilidad del servicio de compresión de gas, asegurando al mismo tiempo una rentabilidad adecuada.

En el contexto de las mejoras propuestas, resulta imperativo avanzar en la instalación

de catalizadores en los equipos. Esta medida no solo conducirá a una disminución sustancial de las emisiones de CO₂, generando beneficios significativos para el medio ambiente, sino que también consolidará el compromiso de la Organización con prácticas sostenibles y responsables.

Posterior a la conclusión del período de concesión del yacimiento, se abre la oportunidad de preservar el valor y la funcionalidad de los equipos mediante su reubicación en otras áreas. Esta estrategia no solo extiende la vida útil de los activos, sino que también optimiza su utilización al trasladarlos a nuevos entornos, donde puedan seguir desempeñando un papel efectivo. Esta flexibilidad operativa no solo maximiza la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos, sino que también demuestra una adaptabilidad operativa crucial para la eficiencia y la sostenibilidad a largo plazo en la industria. En conjunto, estas decisiones estratégicas no solo apuntan a resultados económicos positivos, sino que también reflejan un enfoque responsable y orientado al futuro.

El proceso iniciado en este trabajo, se encuentra actualmente en curso y sigue avanzando en su fase de implementación y consolidación, por lo que se espera un mayor grado de desarrollo a partir del año 2024. Específicamente, se han establecido los cimientos de un modelo de gestión de mantenimiento diseñado para los equipos MC de la planta PC1. Este modelo debería ser continuamente enriquecido y perfeccionado, a medida que se recopile información adicional.

La retroalimentación constante de datos y resultados obtenidos permitirá refinar y mejorar continuamente el modelo de gestión. Este enfoque iterativo garantiza una adaptación constante a las condiciones cambiantes y la evolución de los requisitos operativos. Así, se espera que el modelo evolucione en un ciclo continuo de mejora, donde cada retroalimentación informe y guíe el siguiente paso del proceso.

8. CONCLUSIONES

El Proyecto Integrador Profesional se llevó a cabo de manera exitosa, cumpliendo con los objetivos establecidos. La ejecución de este proyecto, me representó una valiosa oportunidad para aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de mi formación académica en el entorno laboral.

Desde una perspectiva personal, participar en el desarrollo de un Sistema de Gestión de Mantenimiento (SGM) en una Organización consolidada, con elevados estándares de calidad, constituyó un desafío significativo. La experiencia no solo amplió mis habilidades técnicas, sino que también me permitió contribuir, con satisfacción, al fortalecimiento de la eficiencia operativa de la Organización.

Adicionalmente, mi involucramiento en diversas reuniones y presentaciones de avances a lo largo del proyecto, me brindó la oportunidad de desarrollar. Estas interacciones efectivas no solo se limitaron al personal operativo, sino que también incluyeron una comunicación fluida con el equipo gerencial. Este aspecto resultó fundamental para el éxito del proyecto, destacando la importancia de una comunicación efectiva en entornos profesionales complejos.

En resumen, este proyecto no solo me permitió consolidar la aplicación práctica de conocimientos teóricos, sino también al desarrollo de habilidades personales, cruciales para una interacción efectiva en un contexto laboral exigente.

9. REFERENCIAS

- Amendola, L. (2015). *Organización y Gestión del mantenimiento*.
- ISO 12489. (2009). *Risk Management - Risk Assessment Techniques*. International Organization for Standardization.
- ISO 14224. (2016). *Petroleum, petrochemical and natural gas industries-Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. International Organization for Standardization.
- ISO 31000. (2018). *Risk Management*. International Organization for Standardization.
- ISO 31010. (2015). *Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Reliability modelling and calculation of safety systems*. International Organization for Standardization.
- ISO 55000. (2015). *Asset Management*. International Organization for Standardization.
- ISO 55001. (2015). *Asset Management - Management systems - Requirements*. International Organization for Standardization.
- ISO 55002. (2015). *Asset Management - Management systems - Guidelines for the application of ISO 55001*. International Organization for Standardization.
- Mobley, R. K. (2004). *Maintenance fundamentals*. Elsevier Butterworth Heinemann.
- Mora, L. (2009). *Mantenimiento - planeación, ejecución y control*. Alfaomega Grupo Editor.
- NORSOK-Z-008. (2017). *Risk-based maintenance and consequence classification*. NORSOK.
- Pistarelli, A. (2012). *Manual de Mantenimiento, Ingeniería, Gestión y Organización*. Buenos Aires.
- Sola Rosique, A. & Crespo Márquez, A. (2016). *Principios y marcos de referencia de la gestión de activos*. AENOR INTERNACIONAL, S.A.U.
- Torres, L. (2015). *Gestión Integral de Activos Físicos y Mantenimiento*. Alfaomega Grupo Editor.
- UNE-EN 13306. (2018). *Mantenimiento. Terminología del mantenimiento*. Asociación Española de Normalización.
-