

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA



**APLICACION DE HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO AMORMS (ASSET
MANAGEMENT, OPERATIONAL RELIABILITY & MAINTENANCE
SURVEY) EN PLANTA DE ENVASADO DE GLP.**

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Ingeniero en Mantenimiento Industrial
con Licenciatura en Ingeniería.

Alumno:

Felipe Andrés Pinto Romero

Profesor Guía:

Dr. Mg. Ing. Carlos Parra Márquez

DEDICATORIA

Quiero agradecer a Dios y a mis padres por darme la vida, una vida que me ha permitido cuestionar un sinnúmero de cosas, las mismas que me han permitido estudiar en la universidad y con ello expandir mis conocimientos en diversas áreas las cuales me permiten seguir adelante con la misma curiosidad que tenía cuando era pequeño, también quiero agradecer a mis hermanos que fueron un ejemplo a seguir en mi vida ya que mis padres no lograron ser profesionales mis hermanos han sido mi guía en lo que respecta al área profesional y personal generando los lineamientos de en quien deseo convertirme, una persona culta, con quien poder hablar de cualquier cosa, también quiero agradecer a mi polola quien me ha acompañado en estos últimos años de universidad y me ha ayudado en los momentos difíciles tanto personal como académicamente, y por último agradecer a mi alma mater la UTFSM y a sus docentes de excelencia quienes me han permitido nutrir mis conocimientos y habilidades las cuales sé que me ayudarán en el día a día en el área profesional y a mi persona.

RESUMEN

KEYWORDS: Gestión del mantenimiento, Planta de envasados de GLP, Confiabilidad, Seguridad de los activos, Estrategias avanzadas de mantenimiento, Minimización de riesgos, AMORMS (Asset Management, Operational Reliability & Maintenance Survey).

Este trabajo aborda la implementación de estrategias avanzadas de gestión de mantenimiento en la planta de envasado de Gas Licuado de Petróleo (GLP) Con-Con de Lipigas, con el objetivo de optimizar la continuidad operativa, maximizar la confiabilidad de los activos y garantizar la seguridad de los trabajadores. Utilizando la herramienta de diagnóstico AMORMS, enmarcada en el Modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM)[2] de ocho fases, se identificaron brechas en áreas críticas de mantenimiento y se desarrollaron propuestas de mejora específicas.

La problemática inicial por la cual se realizó este caso de estudio es debido a que en el año 2024 se presentaron fallas alarmantes en la línea principal de envasado lo cual generó la parada de esta durante un día completo, también debido a que últimamente a nivel corporativo se han realizado diversas modificaciones en el organigrama operacional.

El análisis incluyó aspectos clave como la programación y optimización de los planes de mantenimiento, el análisis de costos del ciclo de vida (LCCA) [9] y la aplicación del proceso de análisis de causa raíz (RCA) [2]. Se integró el uso del software SAP PM para la gestión de datos técnicos y económicos, además de la implementación de la taxonomía jerárquica de activos basada en la norma ISO 14224 [11], lo que permitió estructurar eficientemente la información para la toma de decisiones.

Los resultados más relevantes de este caso de estudio fueron que tanto la empresa como la planta no poseen herramientas ni metodologías sistemáticas para evaluar los costos de los activos a lo largo de su ciclo de vida, también una baja integración del área de mantenimiento con los procesos logísticos y de abastecimiento de repuestos para los equipos más críticos, esto acompañado de un sistema informático de gestión (SAP PM) que no se utiliza y desperdicia la oportunidad de optimizar ciertos aspectos relevantes dentro de la operación, también se detectó que la criticidad de los activos está determinada por aspectos netamente de experiencia sin ser validados por alguna metodología que permita destacar su importancia dentro de la operación.

Las recomendaciones propuestas consideran estándares internacionales como ISO 55001 [18], ISO 14224 [11] y SAE JA1011 [12], así como metodologías avanzadas como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). Asimismo, se presentan los costos estimados para la implementación de estas estrategias y su impacto en la reducción de riesgos, optimización de recursos y mejora del rendimiento operativo.

ÍNDICE

RESUMEN	
SIGLAS Y SIMBOLOGÍA	
INTRODUCCIÓN	0
OBJETIVO GENERAL	1
OBJETIVO ESPECÍFICO	2
<u>CAPÍTULO 1: APLICACION DE HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO</u>	
<u>AMORMS (ASSET MANAGEMENT, OPERATIONAL RELIABILITY &</u>	
<u>MAINTENANCE SURVEY) EN PLANTA DE ENVASADO DE GLP</u>	3
1.Antecedentes generales al proceso de diagnóstico integral de la Gestión del Mantenimiento	5
2. Fundamentos teóricos de las herramientas de diagnóstico de mantenimiento	6
3. MGM base teórica de la herramienta de diagnóstico AMORMS	9
4. Herramienta integral de mantenimiento AMORMS	12
5.Caso de Estudio	16
5.1. Caso de estudio: Planta de envasado Con-Con.	16
5.1.1. Reunión Inicial	18
5.1.2. Selección y entrevista al personal clave	18
5.1.3. Asignación de Puntajes	18
5.1.4. Identificación de no conformidades y evaluación en terreno.	19
6. Discusión	21
6.1. Análisis de los datos obtenidos	22
6.2. Recomendaciones	23
6.2.1. Aspectos clave relacionados con el proceso de Análisis de Costes de Ciclo de vida (LCCA) (Fase 7 del MGM).	23
6.2.2. Aspectos relacionados con la programación del mantenimiento y optimización de los planes de mantenimiento (FASE 5 y 4 del MGM).	26
6.2.2.1 Análisis y planificación	27
6.2.2.2 Implementación del RCM	28
6.2.2.3. Optimización y mejora continua.	28
6.2.2.4. Monitoreo continuo del desempeño	29

6.2.3. Aspectos clave relacionados con la estructura organizacional del área de mantenimiento (Fase 1 del MGM).	29
6.2.4. Aspectos clave relacionados con el proceso de mejora continua (Fase 8 del MGM).	31
6.2.5. Aspectos clave relacionados con el software de mantenimiento (Fase 6 y 2 del M GM).	33
6.2.6. Aspectos clave relacionados con el proceso de análisis de fallas (ACR) (Fase 3 del MGM).	37
6.3. BENEFICIOS POTENCIALES DE IMPLEMENTAR LOS PLANES DE MEJORA	
PROPUESTOS.	39
6.4. Costes del proyecto	39
Conclusiones	41
Referencias	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Procedimiento general de implantación de una auditoría
Figura 2	Modelo del Proceso de gestión del mantenimiento
Figura 3	Diagrama de flujo aplicación de herramienta de diagnóstico
Figura 4	Organigrama operacional de Lipigas
Figura 5	Distribución de la planta de envasados Con-Con
Figura 6	Variación del costo de ciclo de vida
Figura 7	Integración horizontal y vertical industria 4.0
Figura 8	Clasificación de la Taxonomía con los niveles taxonómicos

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Técnicas de Auditorías de Mantenimiento
Tabla 2	Técnicas de auditoría de mantenimiento continuación
Tabla 3	Análisis FODA al aplicar una herramienta de diagnóstico
Tabla 4	Clasificación del proceso y puntajes
Tabla 5	Clasificación y rangos de puntajes para radar
Tabla 6	Personal clave para entrevistar

Tabla 7	Resumen de resultados herramienta AMORMS
Tabla 8	Orden en el cual se presentarán los planes de acción
Tabla 9	Indicadores propuestos para cerrar las brechas
Tabla 10	Cuadro comparativo de como beneficiarían los planes de acción propuestos
Tabla 11	Costes del proyecto

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Radar de puntajes obtenidos mediante herramienta AMORMS
Gráfico 2	Radar del entrevistado con peor puntuación
Gráfico 3	Radar del entrevistado mejor puntuación

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIGLAS

ISO: International Organization for Standardization (Organización internacional de estandarización)

S.A: Sociedad Anónima.

GLP: Gas Licuado de Petróleo.

SAE: Society of Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros Automotrices).

MGM: Modelo de Gestión de Mantenimiento.

RCM: Reliability Centred Maintenance (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad).

CIF: Costos de Indisponibilidad por Falla.

LCCA: Life Cycle Cost Analysis (Análisis de Costos de Ciclo de Vida).

INTRODUCCIÓN

La gestión eficiente del mantenimiento en instalaciones críticas, como las plantas de envasado de Gas Licuado de Petróleo (GLP), es fundamental para garantizar la continuidad operativa, la confiabilidad de los activos y la seguridad de los trabajadores. La planta de envasado Con-Con de Lipigas, por su naturaleza estratégica, requiere un enfoque integral que combine metodologías avanzadas, estándares internacionales y herramientas digitales para optimizar los procesos de mantenimiento, minimizar riesgos y maximizar el rendimiento de los recursos.

El principal motivo de este caso de estudio viene de la necesidad de evaluar el estado actual del área de mantenimiento de la planta debido a el paro total de la línea de 15 kg en el año 2024 lo que produjo problemas de abastecimiento de gas envasado a los centros de distribución y venta directa de este, también se analizara si los cambios en el organigrama operacional han producido un impacto significativo en el área de mantenimiento

En este contexto, el presente trabajo se centra en diagnosticar, evaluar y proponer mejoras a través de la aplicación de la herramienta de diagnóstico AMORMS (Asset Management, Operational Reliability & Maintenance Survey), enmarcada en el Modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM) de ocho fases, desarrollado por INGEMAN [2]. Este modelo proporciona un marco estructurado para evaluar los procesos actuales y definir estrategias técnicas que permitan superar las brechas identificadas en la gestión del mantenimiento.

El análisis realizado aborda áreas clave del mantenimiento, incluyendo la programación y optimización de los planes, el análisis de costos del ciclo de vida (LCCA) y el proceso de análisis de causa raíz (RCA). Además, se integra la implementación del software SAP PM como herramienta central para la planificación y control de actividades, así como la adopción de la taxonomía jerárquica de activos propuesta en la norma ISO 14224 para mejorar la gestión de datos técnicos y económicos.

A lo largo de este trabajo se exponen los resultados del diagnóstico, las brechas detectadas y las recomendaciones específicas para cada área evaluada. Asimismo, se presentan los costos estimados para la implementación de las propuestas, junto con un análisis técnico-económico que respalda la viabilidad de estas.

Finalmente, se establece un enfoque metodológico que combina estándares internacionales como ISO 55001, ISO 14224, y SAE JA1011, con metodologías avanzadas como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y el LCCA. Esto asegura que las soluciones propuestas no solo respondan a las necesidades específicas de la planta, sino que también posicionen a Lipigas como un referente en la gestión de activos industriales eficientes, sostenibles y alineados con las mejores prácticas globales.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el estado actual de la planta buscando oportunidades de mejora mediante herramienta de diagnóstico AMORMS. A partir de los resultados obtenidos se pretenden proponer planes que optimicen la confiabilidad operativa, reduzca los costos por falla y mejoren la disponibilidad de los activos, mediante la implementación de indicadores de mantenimiento.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Identificar las brechas de la planta de envasado y almacenamiento mediante herramienta de diagnóstico AMORMS.
- Proponer planes de mejora para cerrar las brechas de las áreas más críticas dentro de la planta.
- Proponer un proceso de análisis técnico-económico que permita evaluar la viabilidad de los planes de acción propuestos mediante la implementación de Indicadores.

**CAPÍTULO 1: APLICACION DE HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO
AMORMS (ASSET MANAGEMENT, OPERATIONAL RELIABILITY &
MAINTENANCE SURVEY) EN PLANTA DE ENVASADO DE GLP.**

Artículo

APLICACIÓN DE HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO AMORMS (ASSET MANAGEMENT, OPERATIONAL RELIABILITY & MAINTENANCE SURVEY) EN PLANTA DE ENVASADO DE GLP

Felipe Pinto^{1, *}, Carlos Parra ²

Resumen: El artículo propuesto describe el diagnóstico del sistema de mantenimiento en la planta de envasado de GLP de Lipigas Con-Con, con base en el Modelo de Gestión de Mantenimiento (MGM) y la metodología AMORMS (Basset Management, Operational Reliability & Maintenance Survey). Su objetivo es optimizar la confiabilidad operativa, reducir los riesgos y maximizar la sostenibilidad de los activos, mediante estrategias que integran normas internacionales como ISO 14224, ISO 31000 y SAE JA1011, y herramientas digitales como SAP PM, alineadas con las metas de la organización.

En la primera parte, se analiza el contexto operacional de la planta y se presentan los resultados de la auditoría AMORMS. La cual reflejo que tanto a nivel organizacional como en la planta no se utilizan modelos de análisis de costos de ciclo de vida para sus activos principales, también se identificó que el sistema de gestión informático (SAP PM) no se utiliza debido a falta de personal que cargue los datos para su uso. Esto permitió identificar deficiencias en áreas como el análisis de costos del ciclo de vida (fase 7 del MGM), la planificación y programación de mantenimiento (fases 4 y 5), y la mejora continua (fase 8). Además, se detallan las oportunidades de mejora relacionadas con la integración de metodologías como el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) y el Análisis de Causa Raíz (RCA), que proporcionan un marco técnico para gestionar de manera eficiente los activos críticos.

Finalmente, se describen las recomendaciones y directrices para implementar mejoras específicas en el sistema de mantenimiento de la planta, incluyendo la parametrización de activos según la taxonomía ISO 14224, la integración de indicadores clave como el CIF (Costos por Indisponibilidad por Falla) y el diseño. de planes de mantenimiento adaptados a los modos de falla identificados. Estas acciones buscan consolidar una gestión de activos que garantice la continuidad operativa, la seguridad y la rentabilidad de los equipos a lo largo de su ciclo de vida, posicionando a empresa evaluada como un referente en eficiencia y sostenibilidad industrial.

Palabras clave: Gestión del mantenimiento, Planta de envasados de GLP, Confiabilidad operativa, Seguridad de los activos, Estrategias avanzadas de mantenimiento, Minimización de riesgos, AMORMS (Asset Management, Operational Reliability & Maintance Survey)

1. ANTECEDENTES GENERALES AL PROCESO DE DIAGNÓSTICO

INTEGRAL DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

La optimización de la gestión de mantenimiento en instalaciones industriales de alto riesgo, como las plantas de envasado de GLP, requiere una evaluación constante y detallada de los procesos y prácticas de mantenimiento. En este contexto, la herramienta de diagnóstico AMORMS [1], basada en el MGM [2], propone un procedimiento que permite diagnosticar el estado actual de las prácticas de mantenimiento y generar recomendaciones para mejorar la eficacia y la disponibilidad operacional y optimizar los costos de ciclo de vida de los activos físicos.

La compañía Lipigas SA. es una empresa fundada en Valparaíso y la cual se dedica al rubro de distribución y venta de GLP la cual es perteneciente al grupo Lipiandes el cual posee empresas del mismo rubro en Perú y Colombia. En este estudio se evaluará el estado del área de mantenimiento mediante la herramienta de diagnóstico AMORMS y el MGM [1] los cuales permitirán identificar las oportunidades de mejora en esta planta.

Como datos generales actualmente en la planta de envasado Con-Con existen 3 líneas de envasado de cilindros tipo carrusel, las cuales dos son para envasado de formatos de 5, 11 y 15kg, la segunda de 45kg y cilindros de aluminio y la línea principal de envasado de 15kg. Al momento de comenzar la implementación se inició con la reunión inicial en conjunto con los responsables del área de mantenimiento [3] definiendo así los parámetros que tendrá la propuesta, posterior a eso se continuó con las entrevistas al personal clave, los cuales fueron 5 personas a quienes se le aplicó el cuestionario y la entrevista personal entrevistado, el proceso de entrevistas fue entre julio y agosto de 2024.

Como antecedentes de auditorías se verifica que, en el marco de la gestión integrada de la planta, se han implementado anteriormente auditorías internas de los sistemas de gestión basados en los estándares internacionales ISO 14000 e ISO 45000. Estas auditorías son esenciales para evaluar el cumplimiento de las normas de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente, proporcionando una base sólida para identificar oportunidades de mejora. Aunque los resultados de estas auditorías son confidenciales, reflejan el compromiso de la organización con la sostenibilidad operativa y la alineación con las mejores prácticas en la industria. Este enfoque refuerza la importancia de utilizar herramientas de diagnóstico integrales como AMORMS, para complementar y optimizar los procesos de diagnóstico en áreas críticas de gestión de activos y mantenimiento.

Los objetivos de este estudio son los siguientes:

- Evaluar el estado actual de la planta buscando oportunidades de mejora mediante herramientas y estrategias de mantenimiento.
- Identificar las brechas de la planta de envasado y almacenamiento mediante la herramienta de diagnóstico AMORMS.
- Proponer planes de mejora para cerrar las brechas de las áreas más críticas dentro de la planta.

- Proponer un proceso de análisis técnico- económico que permita evaluar la viabilidad de los planes de acción propuestos (indicadores).

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LAS HERRAMIENTAS DE DIAGNÓSTICO DE MANTENIMIENTO

Las herramientas de diagnóstico son ampliamente utilizadas en diversos campos para evaluar la conformidad de un sistema de gestión. Aunque suelen ser externas, también existen auditorías internas, que permiten una evaluación independiente y documentada de los datos, con el objetivo de obtener evidencias lo más objetivas posible. En este contexto, se ha decidido realizar una auditoría de mantenimiento para diagnosticar el estado actual del área de mantenimiento de una planta de envasado de GLP para identificar los puntos de mejora y determinar los métodos necesarios para alcanzarlos.

El control y monitoreo del estado de implementación de nuevas estrategias requieren el uso de herramientas de diagnóstico. Estas permiten evaluar si la organización debe mejorar en aspectos que no se integraron en las estrategias propuestas o verificar el avance de estas, según Woodhouse [4], algunos de los objetivos comunes del mantenimiento son:

- Restaurar de manera rápida y eficaz las tolerancias óptimas de los sistemas tras una interrupción, optimizando su mantenibilidad.
- Mejorar la continuidad operativa mediante la optimización de la disponibilidad, con el fin de potenciar el rendimiento económico de los activos a lo largo de su ciclo de vida, reduciendo costos.

Aunque todas las herramientas de diagnóstico se centran en los mismos principios básicos, es fundamental elegir la que mejor se adapte al contexto operacional de la organización a evaluar. El proceso para seguir esta selección se describe en la figura 1.

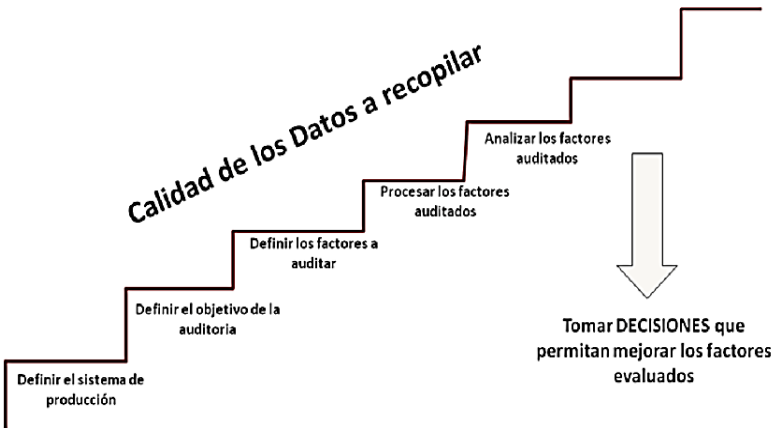


FIGURA 1. Procedimiento general de implantación de una auditoría [2].

Luego de plantear los sistemas, factores y objetivos clave de la auditoria es necesario identificar las áreas, actividades, funciones o procesos de la organización que serán analizadas (alcance de la

auditoria). Los factores comúnmente evaluados en una auditoria son los siguientes [2].

- Recursos Gerenciales.
- Sistemas de manejo de la información (Software de apoyos al mantenimiento).
- Tecnologías aplicadas al mantenimiento preventivo y predictivo.
- Control de calidad del mantenimiento.
- Procesos de soporte (logística e inventarios).
- Planificación de paradas de plantas.
- Integración entre Mantenimiento y Producción.
- Metodologías de Ingeniería de Confiabilidad.
- Aspectos de motivación y comunicación (Confiabilidad Humana).

Como resultado de estos puntos de las auditorias de mantenimiento se debiese poder [2]:

- Generar e interpretar información en base a datos cuantitativos y/o cualitativos.
- Generar planes de acción orientados a cumplir los objetivos de producción, rentabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de la organización.

Las auditorias de mantenimiento se pueden clasificar en 3 grandes grupos dependiendo de cómo se recopile la información, las cuales son [3]:

- **Cualitativas:** Auditorias de fácil aplicación, pero con un alto nivel de incertidumbre debido a la percepción personal de cada individuo con respecto al área. (Encuestas, Listas de preguntas, etc.).
- **Semi cuantitativas:** Auditorias que permiten ponderar de manera parcial y con nivel medio de incertidumbre los distintos indicadores de gestión (Matrices de jerarquización, redes de jerarquización, etc.).
- **Cuantitativas:** Auditorias que utilizan modelos matemáticos para cuantificar como han cambiado los diferentes indicadores de gestión (Modelo de Análisis Jerárquico de Priorización, Análisis Cuantitativo de Riesgo, etc.).

A continuación, en la tabla 1, tabla 2 se muestran algunas de las técnicas de mantenimiento que se utilizan con mayor frecuencia en la industria [5].

Auditoría	AMS-ISO 55001: Asset Management Survey ISO 55001	AMORMS: Asset Management Operational Reliability and Maintenance Survey
Descripción	Cuestionario de evaluación de 94 preguntas divididas en 8 áreas, donde las respuestas pueden ser calificadas de 0 a 5. Permite evaluar los requerimientos de la norma ISO 55001	Cuestionario de evaluación de 150 preguntas divididas en 9 áreas, donde las respuestas pueden ser calificadas de 1 a 5. Permite evaluar las 8 fases del Modelo de Gestión propuesto por Parra y Crespo.
Tipo	Semi cuantitativa	Semi cuantitativa
Aplicación	Personal de Gerencia Superintendentes Ingenieros Supervisores	Personal de Gerencia Superintendentes Ingenieros Supervisores
Áreas para evaluar	Contexto de la organización Liderazgo Planificación Soporte Operación Evaluación de desempeño Mejora	Gestión de activos, objetivos del negocio (KPIs) y organización de soporte Modelos de jerarquización basado en Riesgo Análisis de problemas, manejo de fallas Proceso de programación y planificación Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico Procesos de control y análisis de indicadores técnicos RAM Proceso de análisis de costos de ciclo de vida Procesos de revisión y mejora continua
Puntajes	0: Proceso inexistente 1: Proceso muy deficiente 2: Proceso bajo del promedio 3: Proceso estándar promedio 4: Proceso con muy buenas prácticas 5: Proceso a nivel de Clase Mundial	1: Proceso muy deficiente 2: Proceso bajo del promedio 3: Proceso estándar promedio 4: Proceso con muy buenas prácticas 5: Proceso a nivel de Clase Mundial
Resultados	Los puntajes o atributos deben ser promediados y luego pueden ser graficados en forma de radar.	Los puntajes o atributos deben ser promediados y luego pueden ser graficados en forma de radar.

Tabla 1. Técnicas de Auditorías de Mantenimiento [5].

Auditoría	MQS: Maintenance Qualification Survey	MWCS: Maintenance World Class Survey
Descripción	Cuestionario de evaluación de 386 preguntas divididas en 12 áreas, donde las respuestas pueden ser calificadas como 100%, 50% y 0%	Cuestionario de evaluación de 105 preguntas divididas en 9 áreas, donde las respuestas pueden ser calificadas de 1 a 5. Por lo que el puntaje máximo es 525 y el mínimo 105.
Tipo	Semi cuantitativa	Semi cuantitativa
Aplicación	Personal de Gerencia Supervisores Mantenedores Operadores	Personal de Gerencia Supervisores Mantenedores Operadores
Áreas para evaluar	Vínculo entre producción y mantenimiento Percepción del mantenimiento por gerencia Percepción del Departamento de Mantenimiento Disponibilidad Costos de Mantenimiento Métodos de preparación Planificación Manejo de existencias Quien está haciendo "qué" dentro de la organización Recursos Humanos Recursos Materiales Entrenamiento	Organización del departamento de mantenimiento Clima Laboral Medios de soporte técnico para el mantenimiento Relación entre mantenimiento Programado y Mantenimiento correctivo Desarrollo de procedimientos para la ejecución del mantenimiento Generación de órdenes de trabajo y herramientas informáticas de soporte Manejo de repuestos para mantenimiento Manejo de indicadores técnicos de mantenimiento
Puntajes	100% 50% 0%	1: No se cuenta 2: Deficiente 3: Regular 4: Bueno 5: Excelente
Resultados	Los resultados se pueden representar mediante gráficas en forma de radar	De acuerdo con el puntaje total obtenido: 525-470: "Clase mundial" 469-370: "Muy buena" 369-270: "Sobre el promedio" 269-170: "Bajo el promedio" 105-169: "Muy por debajo del promedio" Los resultados se pueden representar mediante gráficas en forma de radar

Tabla 2. Técnicas de auditoría de mantenimiento continuación [5].

3. MGM BASE TEÓRICA DE LA HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO
AMORMS

La auditoría AMORMS se enfoca principalmente en las 8 fases del modelo de gestión del mantenimiento propuesto por Parra y Crespo, junto a ello también incluye aspectos del modelo de gestión propuestos por la norma ISO 55001. Pero más bien herramienta se desempeña mejor en los procesos de gestión de activos y confiabilidad operativa. A continuación, se muestra la figura 2 con el modelo de 8 fases.



FIGURA 2. Modelo del Proceso de gestión del mantenimiento [2].

A continuación, se genera una breve descripción de cada una de las 8 fases del MGM.

- Definición de objetivos, estrategias y responsabilidades de mantenimiento (Gerenciales, ingeniería y mantenimiento). Para alinear los objetivos de mantenimiento con los del negocio se puede utilizar el cuadro de mando integral (BSC), que permite crear indicadores clave de mantenimiento (KPIs) específicos.
- Jerarquización de los equipos de acuerdo con la importancia de su función (Modelos de análisis de criticidad de los equipos). Estas técnicas ayudan a clasificar los activos dependiendo de su criticidad o riesgo que esta suponga, muchas técnicas cuantitativas se basan en la evaluación probabilística del riesgo con los datos históricos del equipo o sistema, ahora si no se mantiene una data histórica se pueden emplear enfoques cualitativos para la toma de decisiones iniciales, tras establecer las prioridades es esencial definir una estrategia de mantenimiento para cada activo, la cual debe ajustar con el tiempo.
- Análisis de puntos débiles en equipos de alto impacto (ACR-RCFA). Para eliminar los puntos débiles en equipos críticos es fundamental analizar los fallos que presenten una mayor frecuencia antes de desarrollar acciones de mantenimiento, al identificar y eliminar las causas de estos fallos reiterados como consecuencia se puede generar un alto retorno sobre la inversión en gestión de mantenimiento y facilitar las fases posteriores de análisis y diseño de planes.
- Diseño de planes de mantenimiento preventivo y de los recursos necesarios (RCM-RBI). Para definir un plan de mantenimiento preventivo es crucial identificar las funciones de cada sistema o equipo a evaluar y como pueden dejar de cumplirse estas funciones, junto a esto se necesitan establecer tareas efectivas y eficientes de mantenimiento que consideren la

seguridad y los recursos que estos implican, uno de los enfoques formales para lograr esto es el RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad).

- Programación del mantenimiento y optimización en la asignación de recursos (Confiabilidad, Mantenibilidad y análisis RAM). La optimización de los programas de mantenimiento busca mejorar la eficacia y la eficiencia de las políticas establecidas, dependiendo del modelo aplicado este variara dependiendo el horizonte temporal, los de largo plazo se enfocan en la capacidad de mantenimiento y diseño de almacenes de repuestos, mientras que los de corto plazo se centran en la asignación y control de recursos. Dada la alta complejidad de estos problemas a menudo se requieren suposiciones de simplificar los modelos o a veces reducir las necesidades computacionales.
- Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento (Optimización Costo-Riesgo-Beneficio). La ejecución de las actividades de mantenimiento una vez diseñadas y programadas, deben ser evaluadas y controladas para cumplir con los objetivos del negocio y los KPIs seleccionados, muchos de estos últimos se basan en indicadores técnicos y económicos más detallados por lo que es crucial que la organización capture los datos adecuados y con esto gestionar correctamente para obtener un análisis efectivo de las operaciones de mantenimiento.
- Análisis del ciclo de vida y de la posible renovación de los equipos (Análisis LCCA). El análisis de costes de ciclo de vida evalúa el coste total que tendrá el activo a lo largo de todo su ciclo de vida útil, incluyendo costes de planificación, desarrollo, producción, operación mantenimiento y retirada. Aunque los costes de adquisición son evidentes, el análisis también depende de los datos de confiabilidad que el equipo posea como tasa de fallos y costes de piezas de recambio, es por esto por lo que el análisis es crucial para decisiones sobre la adquisición de nuevos equipos ya que ofrece tres ventajas, la primera es que hace visible todos los costes asociados, también permite el análisis comparativo entre funciones del negocio y por último ayuda a la gerencia a desarrollar predicciones precisas.
- Implantación del proceso de mejora continua y adopción de nuevas tecnologías. La mejora continua en la gestión del mantenimiento se logra mediante el uso de técnicas y tecnologías emergentes en áreas clave identificadas en las fases anteriores, el concepto de “e-maintenance”, parte del “e-manufacturing” destaca la importancia de las tecnologías de la información y comunicación para crear entornos colaborativos. El “E-maintenance” incluye recursos y gestión para facilitar un proceso proactivo de toma de decisiones en mantenimiento, abarcando tecnologías como el monitoreo y diagnóstico en línea.

A continuación, se presenta una síntesis de las principales fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas a considerar al momento de aplicar una herramienta de diagnóstico.

Fortalezas	Oportunidades
Optimización del mantenimiento, Detección temprana de fallos, Mejora continua	Innovación tecnológica, Cumplimiento normativo, Reducción de costos
Debilidades	Amenazas
Requiere capacitacion especializada, Resistencia al cambio, Inversion de nuevos implementos	Normativas cambiantes, Fallas en la implementación, Falta de recursos

Tabla 3. Análisis FODA al aplicar una herramienta de diagnóstico.

4. HERRAMIENTA INTEGRAL DE MANTENIMIENTO AMORMS.

La definición de una estrategia de mantenimiento puede abordarse mediante el uso de métodos estándar de planificación estratégica, los cuales específicamente comprenden los siguientes elementos.

- Establecimiento de objetivos de mantenimiento a partir de metas corporativas: A nivel estratégico, se debe formular objetivos y políticas de mantenimiento que reflejen los valores estimados y realistas de variables clave como disponibilidad de equipos, confiabilidad, seguridad, riesgo y presupuesto de mantenimiento. Estos objetivos deben ser comunicados efectivamente a todos los involucrados en el proceso de mantenimiento, incluyendo a proveedores, socios y todos los stakeholders.
- Evaluación del desempeño actual de las instalaciones de producción: Esta fase implica analizar y comprender la situación actual de las instalaciones para identificar áreas de mejora en el contexto de la estrategia de mantenimiento.
- Determinación de indicadores clave de desempeño (KPIs): Se deben seleccionar los KPIs específicos que permitan evaluar de manera continua el rendimiento de las instalaciones. Este conjunto de métricas, evaluado por la dirección de operaciones y mantenimiento, será la base para orientar las mejoras.
- Definición del conjunto de las bases que indicaran la implementación de la estrategia: La estrategia de mantenimiento debe incluir principios claros que guíen la planificación, ejecución, monitoreo y evaluación de las actividades, promoviendo así un proceso de mejora continua en la gestión del mantenimiento.

Lo que se busca con esto, es que las actividades de mantenimiento sean generadas en base a las estrategias definidas, esto debe integrarse en los tres niveles de actividad de la empresa: estratégico o de gestión, táctico o de proceso y operativo. Luego de que las prioridades de mantenimiento estén alineadas con las del negocio los encargados del área de mantenimiento en este caso en la planta deberán crear estrategias de corto y mediano plazo para así cerrar las brechas tanto en la gestión como en los equipos.

En este estudio se utilizará la herramienta de diagnóstico AMORMS permite evaluar de manera integral los procesos de mantenimiento en las instalaciones industriales, con el objetivo de identificar las oportunidades de mejora y reducir tanto fallos operativos como de gestión. Esta metodología se basa en la recopilación y análisis de datos sobre el rendimiento de los equipos, la eficiencia de los procesos de mantenimiento y el cumplimiento de los estándares de operación. En palabras de Carlos Parra “La efectividad de un proceso integrado de gestión de confiabilidad y mantenimiento solo puede evaluarse en función del análisis exhaustivo de una amplia variedad de factores que, en su conjunto, constituyen la contribución del mantenimiento a los procesos operativos”. La base de la herramienta AMORMS se centra en las 8 fases del MGM, las tres primeras fases miden la eficacia del modelo propuesto, las siguientes fases 4 y 5 miden la eficiencia, las fases 6 y 7 se centran en la evaluación de los procesos y por último la fase 8 mide la mejora continua de los procesos.

La herramienta AMORMS incorpora varias etapas claves que se aplicaran en este caso de estudio en la planta.

La aplicación de esta herramienta proporcionara un diagnóstico preciso de la gestión de mantenimiento, abordando aspectos críticos tanto a nivel operativo como humano. Esta metodología facilitara la identificación de mejoras para aumentar la eficiencia y reducir los tiempos de inactividad, lo cual es fundamental para la continuidad de las operaciones de Lipigas tanto a nivel local como nacional.

La herramienta de diagnóstico AMORMS, desarrollada por Ingeman [2] fue elaborada con el enfoque en la gestión de activos y facilita la evaluación de las 8 fases del MGM. Las áreas que permite evaluar la herramienta son las siguientes:

1. Definición de objetivos, estrategias y responsabilidades de mantenimiento.
2. Jerarquización de los equipos de acuerdo con la importancia de su función.
3. Análisis de puntos débiles en equipos de alto impacto
4. Diseño de planes de mantenimiento preventivo y de los recursos necesarios.
5. Programación del mantenimiento en la asignación de recursos.
6. Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento
7. Análisis del ciclo de vida y de la posible renovación de los equipos.
8. Implantación del proceso de mejora continua y adopción de nuevas tecnologías.

Para el análisis de las 8 fases del MGM se utiliza un cuestionario de 150 preguntas [3]. Cada entrevistado deberá calificar cada una de las preguntas presentadas, otorgando puntuaciones parametrizadas entre 1 y 5, según los valores presentados en la tabla 2.

Descripción Proceso	Puntaje
Proceso inexistente	0
Proceso muy deficiente	1
Proceso debajo del promedio	2
Proceso estándar promedio	3
Proceso con muy buenas practicas	4
Proceso a nivel de clase mundial	5

Tabla 4: Clasificación del proceso y puntajes [3].

Junto con lo anterior también se genera un gráfico de tipo radar para comprender mejor las áreas que poseen mejor desempeño y cuáles son las fases que poseen mayores oportunidades de mejora. A continuación, se presenta la tabla que posee los rangos de clasificación (tabla 3).

Descripción Proceso	Rango
Proceso inexistente o muy deficiente	0-1,2
Proceso debajo del promedio	1,2-2,3
Proceso estándar promedio	2,3-3,5
Proceso con muy buenas practicas	3,5-4,5
Proceso a nivel de clase mundial	4,5-5

Tabla 5: Clasificación y rangos de puntajes para radar [3].

En este estudio se utilizará la herramienta de diagnóstico AMORMS permite evaluar de manera integral los procesos de mantenimiento en las instalaciones industriales, con el objetivo de identificar las oportunidades de mejora y reducir tanto fallos operativos como de gestión. Esta metodología se basa en la recopilación y análisis de datos sobre el rendimiento de los equipos, la eficiencia de los procesos de mantenimiento y el cumplimiento de los estándares de operación. En palabras de Carlos Parra “La efectividad de un proceso integrado de gestión de confiabilidad y mantenimiento solo puede evaluarse en función del análisis exhaustivo de una amplia variedad de factores que, en su conjunto, constituyen la contribución del mantenimiento a los procesos operativos”. La base de la herramienta AMORMS se centra en las 8 fases del MGM, las tres primeras fases miden la eficacia del modelo propuesto, las siguientes fases 4 y 5 miden la eficiencia, las fases 6 y 7 se centran en la evaluación de los procesos y por último la fase 8 mide la mejora continua de los procesos.

La herramienta AMORMS incorpora varias etapas claves que se aplicaran en este caso de estudio en la planta.

La aplicación de esta herramienta proporcionara un diagnóstico preciso de la gestión de mantenimiento, abordando aspectos críticos tanto a nivel operativo como humano. Esta metodología facilitara la identificación de mejoras para aumentar la eficiencia y reducir los tiempos de inactividad, lo cual es fundamental para la continuidad de las operaciones de Lipigas tanto a nivel local como nacional.

A continuación, se presenta el procedimiento de aplicación de la herramienta de diagnóstico integral AMORMS elaborada por [2] y descrita por [3].

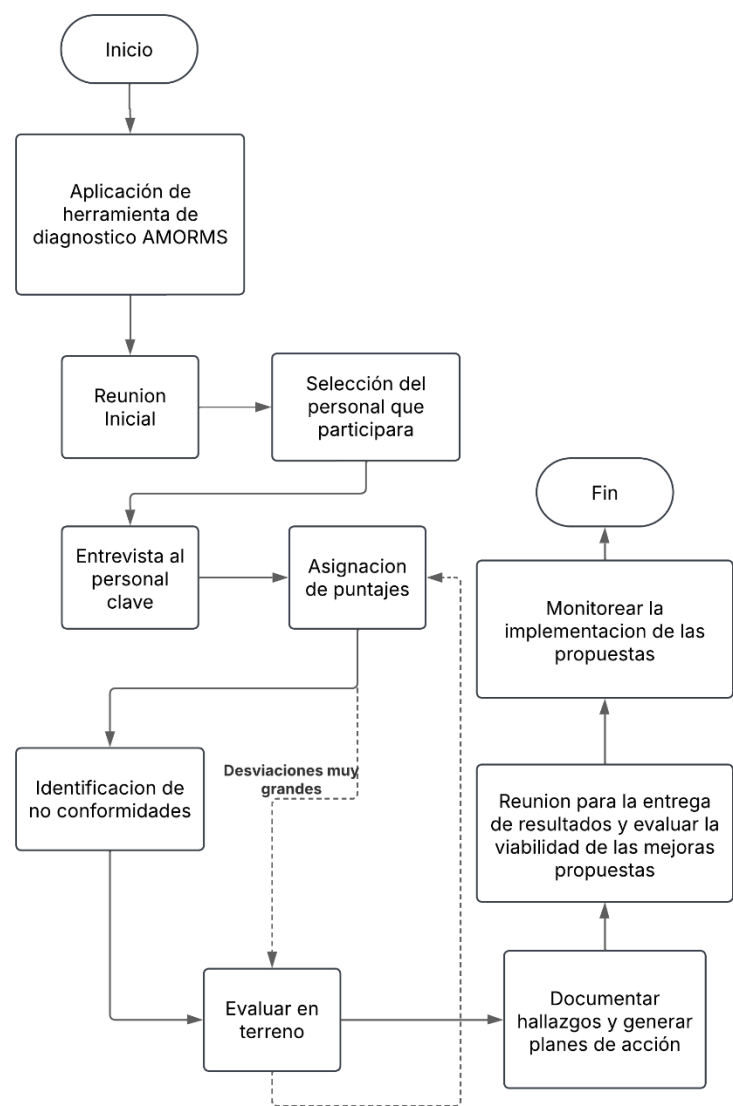


Figura 3. Diagrama de flujo aplicación de herramienta de diagnóstico AMORMS [3]

- Reunión inicial con el personal: Se realiza una reunión preliminar con la jefatura y el equipo técnico para definir los objetivos, el alcance y los criterios de la herramienta de diagnóstico.
- Selección de personal a auditar: Se identifica el personal clave que participara en el proceso de implementación de la herramienta de diagnóstico, el personal no debe ser exclusivamente del área de mantenimiento.
- Entrevista al personal clave: En esta etapa se realizan entrevistas con el personal seleccionado, las entrevistas buscan recabar información sobre las prácticas actuales del área de mantenimiento, la percepción del personal sobre los problemas y las oportunidades de mejora que puedan existir.
- Asignación de puntajes: Se asignan puntajes a cada área o aspecto evaluado, con base en las respuestas del personal lo cual permite evaluar el estado actual del área de mantenimiento, si se generan grandes desviaciones entre las respuestas del personal evaluado se recomienda ampliar el número de participantes de la encuesta, si no se logra conseguir más participantes es necesario evaluar in situ el estado real, lo cual permitirá recaudar la identificación de no conformidades.

- Identificación de no conformidades: En este paso se identifican las oportunidades de mejora que nacen de las respuestas del personal auditado lo cual posteriormente permitirá acotar las secciones que necesitan más atención.
- Evaluar en terreno: Aquí se realiza una inspección directa en el lugar de trabajo para observar directamente las oportunidades de mejora señaladas por el personal entrevistado y detectar nuevas posibles oportunidades que no se hallan identificado.
- Documentar hallazgos y generar planes de acción: Los resultados de la herramienta de diagnóstico incluyendo las observaciones y las oportunidades de mejora se desarrolla un informe el cual contiene los hallazgos y se generan los planes de mejora, los cuales permitirán un mejor desempeño en el área de mantenimiento.
- Reunión para generar la implementación de las propuestas: En esta etapa, se realiza una reunión con los responsables del departamento de mantenimiento para discutir las recomendaciones del informe y planificar la implementación de las mejoras sugeridas, en los cuales se establecerán plazos, recursos, entre otros.
- Monitorear las implementaciones de las propuestas: Una vez implementadas las mejoras, se realiza un seguimiento para asegurar que las acciones correctivas estén funcionando y que se mantengan los estándares de mantenimiento. Este monitoreo debe ser continuo y por ende periódico lo cual nuevamente permite el uso de la herramienta de diagnóstico AMORMS o la que mejor se ajuste al contexto operacional de ese momento.

5. CASO DE ESTUDIO

En el rubro del GLP la empresa a analizar es una de las referentes del tema, siendo la planta de envasados Con-Con uno de sus puntos estratégicos para el abastecimiento de la zona Centro del país.

5.1. CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE ENVASADO CON-CON.

El caso para analizar es una empresa chilena líder en la comercialización y distribución de GLP con más de 70 años de trayectoria en el mercado energético nacional. Con una cobertura que abarca el 99% del territorio chileno y un volumen de abastecimiento superior a los 2,6 millones de clientes, Lipigas es reconocida por su robusta red de distribución sostenida a través de catorce plantas de envasado y almacenamiento, situadas estratégicamente para optimizar su capacidad de suministro. La empresa ha invertido significativamente en la modernización de su infraestructura, utilizando sistemas de almacenamiento automatizados y protocolos de seguridad avanzados para garantizar un servicio de alta calidad y confiabilidad.

En cuanto a la sostenibilidad, Lipigas ha implementado políticas orientadas a reducir el impacto ambiental de sus operaciones, lo cual es particularmente relevante en un sector energético que enfrenta presiones crecientes hacia una mayor sostenibilidad.

Dentro del contexto del área operacional de Lipigas el área de mantenimiento está integrado bajo la gerencia de operaciones, dado que el encargado directo del área de mantenimiento es el jefe de

planta porque los integrantes de dicha área son muy acotados. A continuación, se presenta el organigrama del área de operaciones de Lipigas en la figura 4.

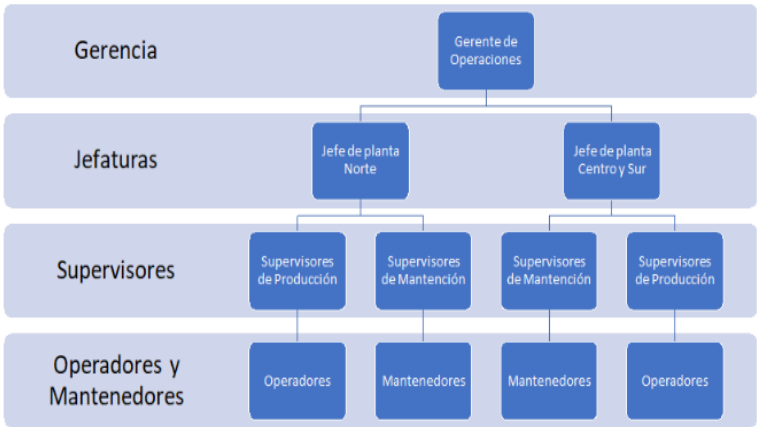


Figura 4. Organigrama operacional de Lipigas.

Dentro de esta red, la planta de envasado de Con-Con, ubicada en calle 2 norte 200, destaca como la más grande del país en cuanto a capacidad de almacenamiento de GLP. Esta planta no solo abastece a la V y parte de la IV región, sino que también funciona como nodo estratégico en la cadena de suministro nacional, con una capacidad de almacenamiento superior a los 8000 m³ y una producción de 55.732 toneladas anuales siendo el formato más solicitado el de 15kg lo que equivale al 66,27% del envasado anual, convirtiendo esta instalación en un pilar de la estructura operativa de Lipigas [6].

A continuación, en la figura 1 se presenta una imagen con la ubicación y distribución de la planta de envasados Con-Con.

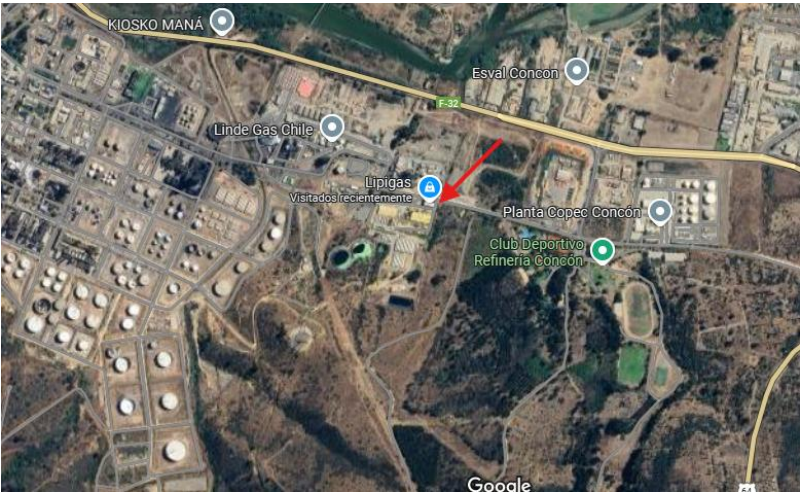


Figura 5. Distribución de la planta de envasados Con-Con (fuente: Google maps)

La planta se divide en 5 grandes secciones las cuales son, edificio administrativo, planta de Re-inspección, zona de llenado envasado, zona de llenado granel, zona taques.

Lipigas en el último periodo ha realizado una serie de modificaciones en su organigrama organizacional por lo que genera la duda si estos cambios han sido acertados y si aún hay

oportunidades de mejora dentro de los procesos, en este caso a la planta.

Es debido a esto que se realiza el presente estudio el cual se centra en diagnosticar el estado del área de mantenimiento de la planta, un área critica para asegurar la continuidad operativa. Este diagnóstico se desarrollará mediante la aplicación de la herramienta de diagnóstico AMORMS, con el fin de identificar oportunidades de mejora y optimizar los procesos de mantenimiento en una planta de alta relevancia para el sector energético nacional. A continuación, se aplica el procedimiento explicado anteriormente en la figura 3.

5.1.1. **Reunión Inicial.**

Al reunirse con el jefe de Planta se acuerda el alcance y objetivos que tendrá por finalidad este caso de estudio (objetivos del caso de estudio), por lo que se identifica al personal clave que involucra directa e indirectamente al área de mantenimiento para iniciar con el cuestionario inicial.

5.1.2. **Selección y entrevista al personal clave.**

La identificación del personal para entrevistar nace en conjunto con el jefe de planta ya que el personal del área de mantenimiento es muy acotado siendo de 5 en total, dos mecánicos por turno y el supervisor.

A continuación, en la tabla 6 se presenta el perfil del personal a entrevistar para la implementación de la herramienta.

Cargo	Profesión
Jefe de planta	Ing. Naval Mecánico
Jefe de Re-inspección	Ing. Civil en Metalurgia
Supervisor de mantenimiento	Técnico en Mecánica Industrial - Ing. en Prevención de Riesgos
Supervisor de operaciones (envasado)	Técnico en Mecánica Industrial - Ing. Industrial
Supervisor de operaciones (granel)	Técnico en Mecánica Industrial

Tabla 6. Personal clave para entrevistar.

5.1.3. **Asignación de puntajes.**

Resultados generales de la herramienta AMORMS en la planta de envasado Con-Con.

A continuación, se genera un resumen con los datos obtenidos de la herramienta AMORMS, presentando los resultados generales obtenidos, la cual se llevó a cabo de julio a agosto de 2024 (Tabla 7) (Gráfico 1).

Área Evaluada	puntaje	clasificación
1.Gestión de Activos, Objetivos del Negocios (KPIS) y organización de soporte	3,2	Proceso estándar promedio
2.Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (criticidad de equipos)	3,8	Proceso con muy buenas practicas
3. Análisis de problemas (manejo de fallas)	3,7	Proceso con muy buenas practicas
4.Procesos de programación y planificación	3,5	Proceso estándar promedio
5.Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico	2,7	Proceso estándar promedio
6.Procesos de control y análisis de indicadores técnicos RAM	3,6	Proceso con muy buenas practicas
7.Proceso de análisis de costos de ciclo de vida	1,9	Proceso debajo del promedio
8.Procesos de revisión y mejora continua	3,3	Proceso estándar promedio

Tabla 7: Resumen de resultados herramienta AMORMS.

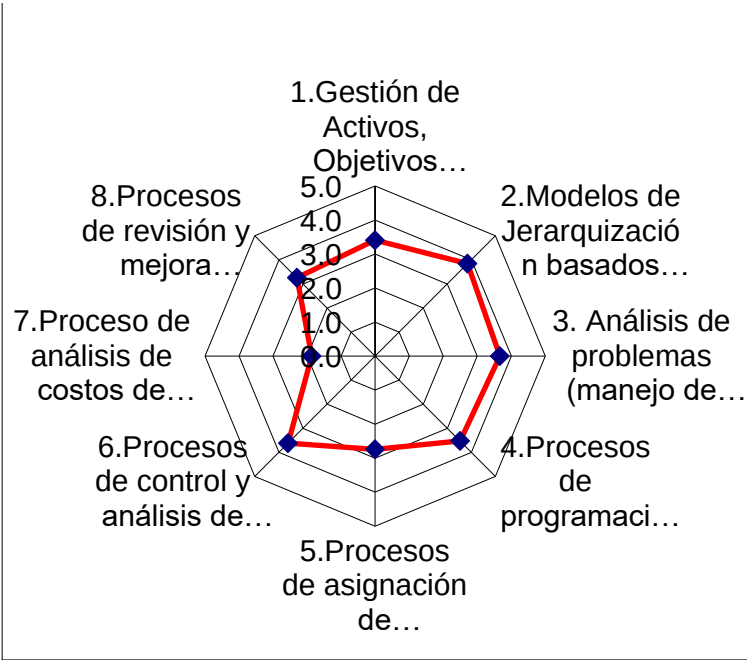


Gráfico 1: Radar de puntajes obtenidos mediante herramienta AMORMS

5.1.4. **Identificación de no conformidades y evaluación en terreno.**

A continuación, se presentan las preguntas individualizadas entre las que poseen la puntuación más desfavorable y las que se encuentran en los mejores casos dentro del cuestionario.

Preguntas peor evaluadas:

- ¿Existen directrices corporativas sobre el proceso de gestión de activos? (Puntaje:2,2)
- ¿La organización de mantenimiento ha sido acreditada en alguna norma relacionada con la calidad? (Puntaje:1,8)
- ¿Se aplican de forma organizada y constante los diferentes métodos de confiabilidad y mantenimiento (RCM, RCA, TPM, RBI, LEAN...) (Puntaje: 1,6)
- El proceso de administración de la bodega y manejo de inventarios, ¿incluye indicadores de optimización de repuestos utilizando técnicas de análisis de riesgo? (Puntaje: 1,6).

Preguntas mejor evaluadas:

- ¿Existe un control detallado sobre los objetivos del negocio desde la gerencia corporativa? (Puntaje: 5).
- ¿Tiene la gerencia corporativa un liderazgo integral y sostenible sobre el negocio? (Control sostenible) (Puntaje: 5).
- ¿Existe un procedimiento donde se detallen los procesos operacionales? (Puntaje: 5)
- ¿Se relacionan los procesos operacionales con todas las actividades de producción? (Puntaje: 5).

Resultados por área:

1. Gestión de activos, objetivos del negocio (KPIs) y organización de soporte. (Puntaje: 3,4).

Preguntas peor evaluadas:

¿Existe un plan de gestión de activos a largo plazo y está integrado con los objetivos y metas del negocio? (Puntaje: 2,0).

¿Se tiene definido un proceso integral de auditoría y mejora continua del modelo de gestión de activos? (Puntaje:2,2).

Pregunta mejor evaluada:

¿Existe una estructura organizacional bien definida? (Puntaje:5).

2. Modelos de jerarquización basados en riesgo (Críticidad de Activos) (Puntaje: 4,0).

Preguntas peor evaluadas:

¿La organización ha desarrollado un modelo de criticidad de equipos basados en riesgo? (Puntaje: 1,0)

¿Está definida de forma clara la política integral de gestión de riesgos alineada con el modelo de gestión de activos? (Puntaje: 3,4)

Pregunta mejor evaluada:

¿Se ha comunicado al personal sobre las potenciales consecuencias sobre los eventos que pueden afectar la seguridad, salud y el ambiente? (Puntaje: 5).

3. Proceso de análisis de problemas (Análisis de Causa Raíz) (Puntaje: 3,7)

Pregunta peor evaluada:

¿Existe un proceso estándar que promueva a los trabajadores a participar en equipos multidisciplinarios? (Puntaje: 2).

Pregunta mejor evaluada:

¿El ambiente de trabajo es propicio para realizar análisis que promuevan cambios y procesos de mejora? (puntaje: 4,6)

4. Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento, inspección y operaciones (Puntaje: 3,5)

Pregunta peor evaluada:

¿Se aplican de forma organizada y constante los diferentes métodos de confiabilidad y mantenimiento (RCM, RCA, TPM, RBI, LEAN...) (Puntaje:1,6)

Pregunta mejor evaluada:

¿Existe una estructura que permita documentar los procedimientos e instructivos de trabajo? (Puntaje: 4,8)

5. Procesos de asignación de recursos, soporte informático y soporte logístico a los procesos de mantenimiento y confiabilidad (Puntaje:2,7)

Pregunta peor evaluada:

¿Los procesos de administración de abastecimiento y manejo de inventarios están orientados a lograr los objetivos del proceso de gestión de activos? (Puntaje: 1).

Pregunta mejor evaluada:

¿Existe un sistema de administración de documentos que cumpla con alguna norma o estándar de calidad? (4,0)

6. Procesos de control y análisis de indicadores técnicos del negocio (RAM) (Puntaje: 3,6)

Pregunta peor evaluada:

¿El análisis de los mantenimientos ejecutados, es realizado de forma eficiente y sistemática? (Puntaje:1)

Pregunta mejor evaluada:

¿Se relacionan los procesos operacionales con todas las actividades de producción? (Puntaje: 5).

7. Proceso de análisis de costos de ciclo de vida (Puntaje: 1,9)

Pregunta peor evaluada:

¿La organización usa la información económica y técnica para mejorar continuamente su sistema de gestión de activos global a lo largo de su ciclo de vida? (Puntaje: 1).

Pregunta mejor evaluada:

¿Las detenciones mayores son implementadas por grupos de dedicación exclusiva? (Puntaje: 3,2)

8. Proceso de revisión y mejora continua (Puntaje: 3,3)

Pregunta peor evaluada:

¿Existe un marco de referencia para incluir mejoras en los procesos de mantenimiento y confiabilidad? (Puntaje: 1)

Pregunta mejor evaluada:

¿El proceso de mejora continua es una práctica estándar de todos los negocios que conforman el proceso industrial? (Puntaje: 4,6)

Las preguntas que se evaluaron en terreno fueron las que obtuvieron una desviación sobre 1,6 las cuales se presentan en el anexo 1.

6. DISCUSIÓN.

En la presente discusión, se explorarán en detalle los hallazgos obtenidos mediante la herramienta de diagnóstico AMORMS, destacando tanto los aspectos positivos como las áreas de oportunidad que se han detectado. Al identificar y analizar estos puntos críticos, se pretende ofrecer un marco comprensivo de

recomendaciones que faciliten la optimización de los procesos internos y la implementación de estrategias de mejora que continua las cuales se contrastaran con los indicadores anteriormente mostrados.

6.1. ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS.

Al momento de analizar los datos obtenidos por las entrevistas y los puntajes de la herramienta de diagnóstico AMORMS se identifican los escenarios en donde se compara la peor y mejor evaluación del cuestionario las cuales generan las mayores variaciones de resultados.

En estos escenarios se puede contrastar la visión operativa y técnica de los entrevistados, dado a que los puntajes más bajos reflejan una visión puramente del área de Re-inspección de cilindros la cual no está familiarizado con el contexto de mantenimiento, por otra parte, se tiene la puntuación mas alta la cual proviene del área de granel el cual se desempeño en sus primeros años en el área de mantenimiento el cual refleja un escenario casi ideal por falta de contexto.

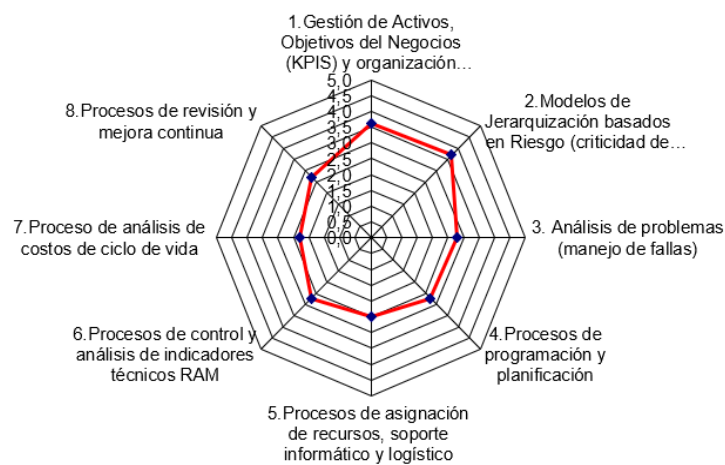


Gráfico 2: Radar del entrevistado con peor puntuación

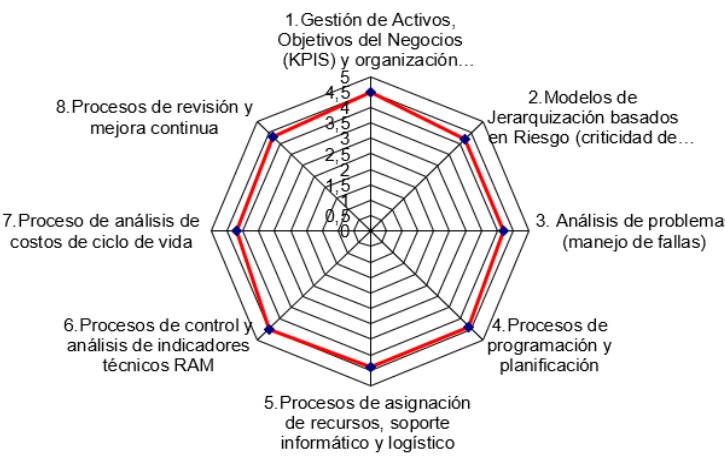


Gráfico 3: Radar del entrevistado mejor puntuación

En los casos de peor y mejor puntuación si bien generan desviaciones estándar no superiores a 1,8 se puede encontrar que en la fase 7 del MGM (Proceso de análisis de costos de ciclo de vida) las

cuales en el gráfico 2 si bien es el más pesimista refleja la tendencia del área evaluada.

También cabe destacar que los puntajes que obtuvieron menor calificación dentro de los entrevistados nos presentan una mirada más objetiva dentro de la planta ya que pertenece a la zona de reinfección de cilindros administrada por CESMEC, pero en instalaciones de Lipigas por lo que también forma parte de la clientela de mantenimiento.

Al realizar un análisis profundo a los datos obtenidos por medio del cuestionario de la auditoria [2] y las entrevistas realizadas al personal, la planta se encuentra en una evaluación general de proceso estándar promedio con una calificación final de 3,3 de un máximo de 5, junto con ello al momento de realizar la entrevista al personal seleccionado se identificó que poseen un alto nivel de compromiso con la empresa y por ende con la planta acompañado de un sólido conocimiento de las funciones tanto al nivel de operaciones como mantenimiento.

A continuación, se presentarán las recomendaciones desde la fase peor evaluada hasta la mejor evaluada (tabla 5), las cuales ayudarán al equipo y por ende al área de mantenimiento de la planta de con-con de Lipigas, para que sea capaz de promover y ejecutar los principales planes de mejora asociados a las 8 fases del MGM en el cual se respalda la implementación de herramienta de diagnóstico AMORMS.

7.Proceso de análisis de costos de ciclo de vida	1,9
5.Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico	2,7
4.Procesos de programación y planificación	3,5
1.Gestion de Activos, Objetivos del Negocio (KPIS) y organización de soporte	3,2
8.Procesos de revisión y mejora continua	3,3
6.Procesos de control y análisis de indicadores técnicos RAM	3,6
2.Modelos de jerarquización basados en Riesgo (criticidad de equipos)	3,8
3.Analisis de problemas (manejo de fallas)	3,7

Tabla 5. Orden en el cual se presentarán los planes de acción.

Nota: Se consideraron recomendaciones en conjunto (Fase 4 y 5; Fase 6 y 2) ya que las recomendaciones realizadas se pueden implementar en ambas fases a la vez para mayor efectividad.

6.2. RECOMENDACIONES.

6.2.1. Aspectos clave relacionados con el proceso de Análisis de Costes de Ciclo de vida (LCCA) (Fase 7 del MGM).

La fase 7 del MGM correspondiente al Análisis de Costes de Ciclo de Vida (LCCA), es un elemento crítico para garantizar la sostenibilidad operativa y económica de los activos tanto a nivel de la planta como de la empresa en general. Este proceso permite evaluar el costo total de un activo desde su adquisición, pasando por su operación y mantenimiento, hasta su disposición final,

proporcionando una base sólida para la toma de decisiones estratégicas.

Mediante los datos obtenidos se evidencia que el enfoque actual carece de herramientas y metodologías sistemáticas para calcular y monitorear los costos a lo largo del ciclo de vida de los activos. Esto limita la capacidad de la organización para optimizar recursos, prever costos futuros y priorizar inversiones de manera efectiva. Esto demuestra una desconexión entre las áreas operativas y financieras, lo que dificulta la consolidación de datos relevantes para la evaluación económica.

Área evaluada:

Fase 7: Procesos de análisis de costos de ciclo de vida.

Calificación del área: 1,9.

La normativa de referencia para el desarrollo de recomendaciones para ayudar a consolidar el proceso de Análisis de Costos de Ciclo de Vida es la siguiente:

- ISO 15663:2021 Industrias del petróleo, petroquímica y gas natural: cálculo del coste del ciclo de vida [7].
- ISO 31000:2018 Gestión del riesgo [8].

Mediante los datos obtenidos se evidencia que el enfoque actual carece de herramientas y metodologías sistemáticas para calcular y monitorear los costos a lo largo del ciclo de vida de los activos. Esto limita la capacidad de la organización para optimizar recursos, prever costos futuros y priorizar inversiones de manera efectiva. Esto demuestra una desconexión entre las áreas operativas y financieras, lo que dificulta la consolidación de datos relevantes para la evaluación económica.

A continuación, se presentarán un conjunto de recomendaciones específicas para la fase 7 del MGM [2], orientadas a fortalecer las capacidades de análisis de costos de ciclo de vida de los activos de la planta, integrar mejores prácticas en la gestión de estos y promover una toma de decisiones basada en datos.

Al momento de evaluar esta área mediante la herramienta de diagnóstico se identifica por medio del cuestionario y entrevista al personal que los activos de la planta no poseen un modelo que permita evaluar el ciclo de vida de los activos, lo que genera que los activos sean remplazados una vez que el equipo llegue al fallo o no cumpla con los parámetros de producción lo cual se traduce en un aumento de los costos totales de la operación en conjunto con la rentabilidad de esta, a continuación se presenta en la figura 3 los costos asociados de un activo a lo largo de su ciclo de vida.

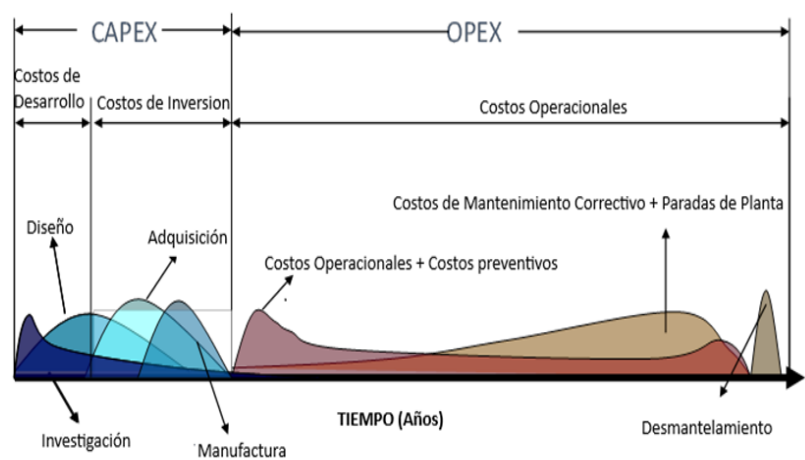


Figura 6. Variación del costo de ciclo de vida. (Adaptado de [1]).

Esta área dentro del MGM fue aquella que presentó la menor puntuación en la herramienta AMORMS realizada en la planta de envasados Con-Con. Como recomendación principal se presenta el modelo de LCCA desarrollado por Woodward [9], el cual permite calcular el impacto de los costos por falla en el ciclo de vida de un activo. A continuación, se presenta el procedimiento general de implementación para el LCCA.

- Definir el contexto operacional de sistema o activo, como los parámetros de producción y los modos de funcionamiento (Operación plena carga, media carga y sin carga).
- Establecer los factores de utilización. Indicando cada modo operativo del sistema o activo, evaluando el tiempo de actividad el rendimiento y la eficiencia.
- Identificar alternativas viables. Evaluar diferentes opciones mediante estrategias operativas que puedan cumplir con los objetivos del sistema.
- Clasificar las categorías de costos. Dividir los costos en puntos específicos como inversión inicial, desarrollo, adquisición, mantenimiento planificado y reemplazo eventual.
- Evaluar cada alternativa mediante Costo de Confiabilidad Total (CCT). Identificar las principales fallas del sistema o activo, su frecuencia y el impacto en los costos de operación y mantenimiento.
- Determinar los costos críticos. Identificar las categorías de costos que representan la mayor proporción del costo total, analizando las causales de estos. (generar estrategias de control).
- Estimar los costos en valor presente. Definir una tasa de descuento y la vida útil del activo o sistema para calcular el valor presente de cada alternativa.
- Selección de la alternativa más adecuada. Comparar las alternativas evaluadas y seleccionar la que ofrezca el menor costo total y mayores beneficios a lo largo de su ciclo de vida disminuyendo el riesgo [10].

Con relación a la implementación del modelo de Woodward, este último propone la siguiente ecuación la cual permite evaluar los costos generados por un activo a lo largo de su ciclo de vida [9]:

CTCV(P): $\sum IC + CO + CMP + CMC + CMM - VR$

Donde:

CTCV(P): Costos totales del ciclo de vida en valor presente, para una tasa de descuento (i) y una vida útil esperada (T).

P: Valor presente.

IC: Costo inicial de adquisición, generalmente expresando en valor presente.

CO: Costos operativos, generalmente como valor anualizado.

CMP: Costos de mantenimiento preventivo, generalmente expresados como valor anualizado.

CMC: Costos de mantenimiento correctivo (costos de fallas), generalmente expresado como valor anualizado.

VR: Valor de remplazo, generalmente expresado como valor futuro.

Nota: Todas las categorías de costos se convertirán a valor presente (P) a una tasa de descuento (i) y una vida útil esperada (T).

El modelo de Woodward ofrece un marco conceptual sencillo pero efectivo para cuantificar el impacto económico de las fallas en un sistema de producción a lo largo de su ciclo de vida, proponiendo así un enfoque secuencial que comienza con la identificación de los tipos de fallas más críticas para el sistema, estimando los costos en un ciclo anual generados por las fallas de producción, operaciones, medio ambiente y finalmente seguridad, estimando así el costo total de las fallas para los años en que se encuentre funcionando el equipo o sistema.

6.2.2. Aspectos relacionados con la programación del mantenimiento y optimización de los planes de mantenimiento (FASE 5 y 4 del MGM).

La programación y optimización de los planes de mantenimiento son componentes esenciales dentro del MGM. Estas actividades permiten estructurar las tareas de mantenimiento preventivo o correctivo, maximizando así la disponibilidad de los activos y reduciendo los costos operativos mediante la utilización de sistemas de gestión como el módulo SAP PM el cual por el momento no se utiliza por falta de personal en coordinación de mantenimiento, se sabe que la planificación adecuada no solo asegura el cumplimiento de los objetivos operativos de la planta, sino que también facilita la integración de metodologías avanzadas como el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) o el análisis de causa raíz (RCA), de las cuales no se emplea ninguna en la planta, generando la oportunidad de introducir estas herramientas efectivas y funcionales en la operación.

Áreas evaluadas

Fase 5: Asignación de recursos y procesos de apoyo logístico.

Calificación del área: 2,7

Fase 4: Proceso de planificación, programación y optimización de planes de mantenimiento.

Calificación del área: 3,5

A continuación, se presentan la normativa de las cuales se generaron las recomendaciones, las cuales ayudaran al proceso de optimización de la inspección y los planes de mantenimiento.

- ISO 14224:2016. Industrias del petróleo, petroquímica y gas natural: recopilación e intercambio de datos de fiabilidad y mantenimiento de equipos [11].
- SAE JA 1011. Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad [12].
- SAE JA 1012. Una guía para la norma de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) [13].
- UNE-EN 17007:2018. Proceso de mantenimiento e indicadores asociados [14].
- ISO 31000:2018(es). Gestión del riesgo-directrices [8].

Las fases 4 y 5 del MGM abordan el diseño de planes de mantenimiento, la programación y optimización de recursos, estas etapas son fundamentales para garantizar la confiabilidad operativa, reducir riesgos y optimizar el uso de recursos en sistemas complejos. El desarrollo de planes de mantenimiento efectivo requiere identificar las funciones principales de los activos, sus modos de falla, los procesos de deterioro y los efectos de dichas fallas. A partir de este análisis, se deben establecer tareas de mantenimiento e inspección eficientes que consideren la seguridad, el impacto ambiental y las necesidades operativas de la planta de envasado Con-Con. Dado esto a continuación se presentan las recomendaciones realizadas en base a la calificación de la cada área y de las anotaciones de los entrevistados.

- Aplicar la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) [1] para identificar las funciones y modos de fallas de los activos críticos, para posteriormente evaluar el costo de riesgo económico de cada falla y como abordarlos.
- Elaborar un procedimiento estándar para la toma de datos de mantenimiento, los cuales ayudaran a la calidad de estos lo que se traduce en un análisis de la confiabilidad del equipo o sistema que sea lo más acertado posible.
- Realizar ordenes de trabajo (OT) para cada actividad que realicen los mantenedores de la planta o contratistas en los equipos de la planta.
- Codificar los modos de fallas en el sistema integrado de gestión (SAP PM) para mantener un registro de estos y mantener un inventario de repuestos para los más recurrentes.
- Ingresar las ordenes de trabajo y la recopilación de datos a SAP PM para gestionar de mejor forma el plan de mantenimiento de la planta y generar un programa de inspección en base a estos.

A continuación, se presenta el resumen general de cómo aplicar el RCM a la planta de envasado Con-Con.

6.2.2.1. Análisis y planificación.

En este punto se establecen los cimientos en base a un diagnóstico exhaustivo de los activos de la planta, identificando sus funciones principales y modos de falla que podrían comprometer la operación o seguridad de los trabajadores.

- Formación del equipo de trabajo multidisciplinario.

En este punto se seleccionará el personal básico esencial que pueden ser operadores, mantenedores, ingenieros y

supervisores que se relacionen directamente con el contexto operacional de los equipos o sistemas que se analizaran. Este equipo de trabajo debe recibir una capacitación de facilitadores de RCM (tomar como referencia [15]) para comprender los objetivos, tareas y herramientas a utilizar, con esta capacitación se busca que el personal se involucre más con la importancia del activo y ayuden en la toma de decisiones con base en conocimientos operativos y técnicos específicos del sistema.

- Selección del sistema o equipos y definición del contexto operacional

En este paso, se determinan los sistemas y equipos que serán evaluados, estableciendo un alcance claro para el análisis. Para cada sistema o equipo se define su contexto operacional como capacidad de carga, tiempo de operación, normativa de seguridad aplicable y factores ambientales que influyen en su desempeño.

6.2.2.2. Implementación del RCM.

Este punto se centra en el análisis sistemático, identificando cuales son las fallas más recurrentes de los activos y que impactos generan a nivel económico, operacional y seguridad.

- Definición de funciones principales y secundarias.

Se deben establecer las funciones claves que el sistema debe cumplir bajo condiciones normales, para posteriormente facilitar la inspección y determinar si se encuentra en el rango de operación establecido o si presenta algún tipo de desviación [15].

- Identificación de fallas funcionales.

Se documentan las posibles fallas funcionales, determinado cuales son las más críticas dependiendo su impacto en el equipo o sistema, entiéndase como falla crítica como la falla que inhabilita al equipo a desempeñar la función para la que fue diseñado.

- Detección de modos de falla

Se especifican las causas de cada falla funcional clasificándola a nivel de ítem mantenible según la norma ISO 14224 [8], la cual señala que los modos de falla pueden ir desde el sistema hasta el ítem mantenible, pero es recomendable siempre identificarlo a nivel de equipo.

- Análisis de efecto y consecuencias.

Se deberán evaluar los impactos que genera el o los modos de falla en la operación, ambiente y la seguridad, para el análisis de este punto y los anteriores de esta sección es recomendable utilizar una metodología como el FMECA.

6.2.2.3. Optimización y mejora continua.

Esta fase se centra en garantizar que las estrategias y planes de mantenimiento diseñado en las fases anteriores sean efectivas a largo plazo, este paso es clave para mantener la alineación de los objetivos estratégicos y operativos dentro de la planta.

- Diseño de tareas de mantenimiento específicas.

En esta etapa se elaboran los planes de mantenimiento detallados para las fallas más recurrentes o los equipos más críticos dentro de la planta, la cual deberá tener un listado de tareas preventivas, predictivas y correctivas. Dependiendo de la calidad de los datos recolectados se determinará la calidad de los indicadores mencionados.

6.2.2.4. Monitoreo continuo del desempeño

Por último, se deberán generar auditorías regulares en periodos de 12 a 18 meses para medir la efectividad de los nuevos planes y ajustar según los resultados obtenidos, también se deben evaluar continuamente los indicadores clave como la disponibilidad (D), la confiabilidad (TPO) y la mantenibilidad (TPR) para medir eficazmente la aplicación de los nuevos planes.

La implementación del RCM en la planta de Con-Con permitirá obtener un enfoque estructurado para mejorar la disponibilidad de los activos que integren herramientas y software especializados para la gestión y conservación de los equipos, optimizando recursos y minimizando los riesgos asociados, Este método también asegura el cumplimiento de estándares internacionales, posicionando a la planta y por ende a Lipigas como un referente en la gestión eficiente de activos industriales.

6.2.3. Aspectos clave relacionados con la estructura organizacional del área de mantenimiento (Fase 1 del MGM).

Al momento de iniciar con el uso de la herramienta de diagnóstico AMORMS en el área de objetivos y estructura organizacional de la empresa se evaluar las metodologías que esta utiliza en la organización a nivel general y en específico de la planta Con-Con, con esto se identificó una única metodología utilizada la cual es Kaizen la que se emplea en el área de operaciones mayoritariamente, al momento de evaluar esta metodología en el área de mantenimiento se identifica que no permite integrar aspectos clave, dejando en evidencia la falta de políticas que ayuden en la gestión del mantenimiento, confiabilidad y gestión de los activos.

Área evaluada

Fase 1: Gestión de Activos, Objetivos y Estructura Organizacional.

Calificación del área: 3.2

Para disminuir las brechas detectadas mediante la herramienta de diagnóstico AMORMS en la fase 1 y para consolidar la totalidad de los planes de acción en las 8 fases del MGM, se recomienda a la planta de envasado Con-Con/ Lipigas/ Chile, implementar un grupo de soporte de Ingeniería de Confiabilidad. El cual tendrá por finalidad llevar a cabo y monitorear la efectividad de los planes de mejora presentados por este estudio y posteriormente evaluar y optimizar los nuevos requerimientos que se generen en el contexto de la organización en base a las 8 fases del MGM. Las funciones que desempeñaran este grupo incluyen:

1. Realizar una gestión eficiente del MGM (sistema de gestión de mantenimiento), en este caso el software SAP PM y analizar los datos generados por este sistema para generar planes de acción.
2. Gestionar de manera eficiente y efectiva las herramientas avanzadas de optimización de mantenimiento para el buen desempeño de los planes de acción para mantener la continuidad operativa y una buena confiabilidad general.

Debido a las dimensiones de la planta de envasados Con-Con se recomienda la implementación de 1 a 2 ingenieros de confiabilidad

a tiempo completo, los cuales deberán desempeñar monitoreos y tareas para el proceso de implementación e integración del MGM.

La base utilizada para el desarrollo de las recomendaciones mencionadas anteriormente es:

- UNE 16646 2014. Mantenimiento y gestión de activos físicos [15].
- ISO 55001:2014. Gestión de activos – Sistemas de gestión [16].
- UNE 15341:2020+A1:2023. Indicadores clave de rendimiento del mantenimiento [18].
- ISO 14224:2016. Industria del petróleo, petroquímica y gas natural: recopilación e intercambio de datos de fiabilidad y mantenimiento en equipos [11].

El grupo de ingeniería de confiabilidad debe ser capaz de crear y acompañar las actividades que se mencionaran a continuación.

- Participar activamente dentro de la creación de una política integral de gestión de mantenimiento dentro de la planta y alinearla con los objetivos del negocio.
- Definir indicadores clave de mantenimiento (KPIs) para evaluar la eficiencia de los activos.
- Mantener un registro completo de todos los activos, incluyendo equipos, maquinarias, herramientas e instalaciones, con información sobre su estado, ubicación y especificaciones técnicas.
- Clasificar los activos mediante metodología de criticidad como el FMECA o similares.
- Implementar programas para la evaluación de actualización y modernización de equipos para mejorar la eficiencia energética y operativa.
- Administrar el sistema de gestión de mantenimiento (SAP PM) para mantener actualizada la programación de actividades, generación y seguimiento de ordenes de trabajo y gestión de inventarios de repuestos.
- Utilizar tecnologías de monitoreo para evaluar el estado de los equipos (análisis de vibraciones, termografía, entre otros.) con el fin de evaluar una posible falla.
- Establecer un programa regular de mantenimiento para prevenir fallas, que incluya revisiones y cambio de piezas de desgaste periódico.
- Comparar el rendimiento de los activos (benchmarking) con otras plantas con el fin de monitorear el estado de los activos e identificar las áreas de mejora.
- Realizar un análisis de costo de ciclo de vida (LCCA) de los activos más críticos en un principio y posteriormente implementar a todos los activos, con el fin de evaluar la continuidad de estos o sustituirlos.

- Capacitar al personal en el uso de metodologías y herramientas avanzadas de mantenimiento a implementar.
- Capacitar al personal en el mantenimiento adecuado de los activos, así como en el uso de sistema de gestión de activos.
- Capacitar al personal en el uso de indicadores clave de mantenimiento y como recopilar la información para un monitoreo efectivo.
- Establecer y mantener procedimientos operativos estándar con claridad para el mantenimiento de equipos, asegurando el cumplimiento de normativa de regulación y seguridad.
- Documentar todos los trabajos de mantenimiento, personal y recursos utilizados para tener un historial claro de rendimiento y estado de cada activo.
- Evaluar y planificar inversiones en activos a largo plazo, considerando tanto la adquisición de nuevos equipos como la renovación de los existentes.

Priorizar inversiones basadas en el análisis de riesgo y el impacto en la operación.

6.2.4. Aspectos clave relacionados con el proceso de mejora continua (Fase 8 del MGM).

Lipigas en el último periodo ha establecido en sus políticas organizacionales el compromiso que poseen con la gestión de calidad mediante la certificación de algunas de sus plantas incluida Con-Con en la norma ISO 9001 [18], promoviendo así las directrices de la normativa en parte de su cultura organizacional. El proceso de mejora continua de Lipigas adopta las propuestas que permitan los cambios ajustados a las necesidades actuales de la planta y las puedan surgir. Con esto se busca involucrar a todo el personal de la planta y la dirección de la empresa, siendo estos últimos los encargados de la implementación de las recomendaciones entregadas a partir de las metodologías de optimización generadas para el área de mantenimiento (RCA, RCM, SIX SIGMA, entre otras.) A continuación, se presentan algunas recomendaciones para reforzar el proceso de mejora continua.

Área evaluada

Fase 8: Procesos de revisión y mejora continua.

Calificación del área: 3.3

La normativa de referencia utilizada para generar las recomendaciones que ayuden en el proceso de mejora continua es la siguiente:

- ISO 55001:2014(es). Gestión de activos - Sistemas de gestión – Requisitos [16].
- ISO 31000:2018(es). Gestión del riesgo-Directrices [8].
- UNE-EN 16646:2015. Mantenimiento en la gestión de los activos físicos [15].

La fase 8 del MGM se centra en la mejora continua, la cual es esencial para desarrollar y optimizar los procesos de mantenimiento en un entorno competitivo y en constante cambio a nivel industrial. El

resultado de esta área mediante la herramienta AMORMS destaca la necesidad de fortalecer la incorporación de nuevas tecnologías y estrategias participativas para alcanzar un desempeño que permita a la planta y por ende a Lipigas estar a la vanguardia.

El avance hacia un modelo de Mantenimiento 4.0 es clave para Lipigas en su objetivo de integrar tecnologías digitales y mejorar la eficiencia de sus procesos [6], con este enfoque se busca la implementación de herramientas de la industria 4.0, como el internet de las cosas (IoT), el mantenimiento predictivo basado en inteligencia artificial (IA), gemelos digitales (Digital Twins) y el aprendizaje automático (ML).

En el caso específico de la planta de Con-Con, la reincorporación del sistema SAP PM como una plataforma central para la gestión del mantenimiento representa una prioridad, junto a ello se puede incluir el módulo SAP HANA 4.0 el cual permite automatizar la recopilación y análisis de datos en tiempo real sin necesidad de ser reprogramada, con esto se busca implementar estrategias como el e-monitoring, e-diagnosis y e-prognosis, optimizando así las actividades de mantenimiento preventivo y predictivo.

El uso eficiente de estas tecnologías no solo aumentara el rendimiento técnico de los activos de la planta de envasados Con-Con, sino que permitirá a la organización integrar de manera directa el uso de tecnologías con la producción y el mantenimiento en todas sus plantas, esto ayudara a maximizar la rentabilidad de los activos a lo largo de su ciclo de vida, alineándose con los estándares de sostenibilidad y eficiencia de Lipigas.

A continuación, en la figura 4 se demuestra como la industria 4.0 integra distintas áreas de las organizaciones lo cual es beneficioso al momento de tomar decisiones en el contexto operacional de la planta de envasado Con-Con.

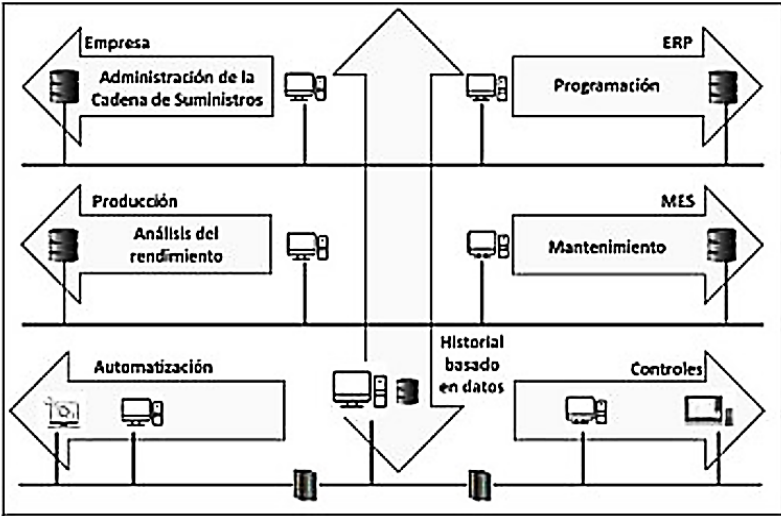


Figura 7. Integración horizontal y vertical industria 4.0 [21].

En el escenario actual de Lipigas, el desafío principal es garantizar que las herramientas de la industria 4.0 se integren eficazmente con los objetivos estratégicos de la organización, esto se puede lograr mediante el diseño de indicadores inteligentes que permita un análisis técnico financiero en SAP PM que permitirá medir el impacto de las tecnologías en la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de los equipos. Junto al monitoreo en tiempo real se deberán implementar auditorias anuales para medir el impacto de las soluciones implementadas.

A continuación, se presenta en la tabla 9, los indicadores que se deberán incorporar en el módulo SAP PM en la planta de envasado Con-Con (el cálculo de los indicadores se describe en el punto 6.2). Cabe considerar que los datos representados se deberán auditar en un periodo de dos años posterior a la implementación de las recomendaciones para evaluar la efectividad de estos.

Indicadores técnicos y económicos
TPO (Tiempo Promedio Operativo)
TPR (Tiempo Promedio de Reparación)
FF (Frecuencia de Fallas)
D (Disponibilidad)
CIF (Costes de indisponibilidad por Falla)

Tabla 9. Indicadores propuestos para cerrar las brechas [2].

6.2.5. Aspectos clave relacionados con el software de mantenimiento (Fase 6 y 2 del MGM).

El software de gestión de mantenimiento SAP PM en la planta Con-Con debe ser una herramienta fundamental para la consolidación de los procesos de mantenimiento, permitiendo minimizar riesgos operativos, la ejecución de las tareas de mantenimiento y el cruce de datos desde las distintas áreas que involucran a mantenimiento. Dado que dentro del proceso de aplicación de la herramienta AMORMS se detectó que actualmente la planta no posee soporte de este sistema por lo que las recomendaciones irán orientadas a la reincorporación de este y las futuras optimizaciones que se podrán implementar a medida de lo posible, todo esto con el fin de reforzar la seguridad, la confiabilidad de los activos críticos y la sostenibilidad operativa, otra consideración que se tomara para las recomendaciones es la falta de registro informático que posee el área de mantenimiento y el que existe se utiliza en herramientas básicas que no permite el análisis de datos. Debido a esto también se abordarán las ordenes de trabajo y que estas puedan utilizarse digitalmente para mantener la información disponible y así integrarla a los indicadores propuestos. A continuación, se presentan las recomendaciones generales para la optimización del software SAP PM.

Áreas evaluadas

Fase 6: Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento.

Calificación del área: 3,6

Fase 2: Jerarquización de los equipos de acuerdo con la importancia de su función.

Calificación del área: 3,8

A continuación, se presenta la normativa de referencia para consolidar las recomendaciones del uso del software SAP PM.

- ISO 14224:2016. Industrias del petróleo, petroquímica y gas natural: recopilación e intercambio de datos de fiabilidad y mantenimiento de equipos [11].
- UNE-EN 60300-3-11:2013. Gestión de la confiabilidad. Guía de aplicación. Mantenimiento centrado en la fiabilidad [19].
- UNE-EN 17007:2018. Proceso de mantenimiento e indicadores asociados [14].

A continuación, se presentan las recomendaciones con una mayor oportunidad de aprovechamiento en las etapas mencionadas (fase 6 y 2 del MGM).

- Reincorporar el sistema de soporte informático para el área de mantenimiento SAP PM con el fin de optimizar los procesos y permitir así un mejor manejo de la información entre esta área y sus pares.
- Integrar ordenes de trabajo bajo un formato estándar en la planta y toda la organización en SAP PM las cuales deberán contener apartados como la descripción del problema, síntomas, modos de falla (asociados al ítem mantenible [ISO 14224]) (registro de la información debe contener el catálogo de fallas asociadas a elementos mantenibles, mantenimiento la OT (orden de trabajo) abierta hasta obtener los indicadores como: TPO, TPR; CIF.
- Mejorar el proceso de recolección de datos y formato de estos para facilitar el análisis de datos generados por el software de gestión de mantenimiento SAP PM, es necesario capacitar al personal que recopila los datos de mantenimiento de la planta en este apartado ya que con eso se lograran obtener indicadores de alta calidad y por ende que reflejen el estado actual de cada equipo de la planta.
- Generar dentro del SAP PM los diferentes niveles jerárquicos (Planta, proceso, sistema, equipos e ítem mantenible [8]), además de generar en conjunto los indicadores técnicos de mantenimiento (TPO: Tiempo Promedio Operativo, TPRS: Tiempo Promedio Fuera de Servicio, TPR: Tiempo Promedio Para Reparar, FF: Frecuencia de Fallas, CIF: Costos de Disponibilidad por Falla, Disponibilidad). Esto se recomienda incorporarlo en el corto a mediano Plazo, cabe destacar que en el mediano plazo de incorporación del indicador CIF se pueden evaluar aspectos como: Retraso de actividades, porcentaje de actividades de mantenimiento planificadas vs ejecutadas y también las actividades preventivas vs correctivas [2].
- Promover el interés por el uso de SAP PM a todo el personal del área de mantenimiento con el fin de generar propuestas para la optimización de los equipos y tomar decisiones en base a los indicadores técnicos y económicos generados.
- Utilizar SAP PM para promover estrategias de mantenimiento en los apartados de planificación y programación, utilizar en conjunto con el indicador CIF propuesto con anterioridad a nivel de ítem mantenible con el fin de garantizar el proceso de mantenimiento preventivo en base a la información que se proporciona y así optimizar el presupuesto anual de mantenimiento.

- Revisar y optimizar los procedimientos detallados de ejecución de mantenimiento a los equipos críticos (ajustar el monitoreo y mantenimiento preventivo para los modos de falla críticos).
- Promover a mediano y largo plazo, la incorporación de herramientas de Análisis de Causa Raíz (ACR) y Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) dentro de SAP PM, como módulos integrados dentro de este último, esto nutrirá por consecuencia a los procesos de planificación, programación y desarrollo de presupuestos anuales del área de mantenimiento.
- Desarrollar un programa de capacitación básica de indicadores técnicos de mantenimiento y confiabilidad, en conjunto con la capacitación de cómo se integran estos con el módulo SAP PM, con esto se busca que el personal se involucre activamente en los procesos de toma de decisiones en base a indicadores técnicos, también aplica para personal de operaciones.

En esta etapa se recomienda que la planta de Lipigas y si es posible en toda la organización se incorpore el indicador de Costos de Indisponibilidad por Fallas-(CIF) con el fin de obtener una visualización de cómo podrían afectar económicamente las fallas en los procesos tanto de mantenimiento como de producción.

La norma ISO 14224 [11] permite clasificar y jerarquizar activos físicos de manera estandarizada para optimizar la gestión del mantenimiento. En la planta de envasado de GLP Con-Con de Lipigas, la integración de esta taxonomía en el software SAP PM facilita la organización de activos desde niveles generales (industria, procesos y sistemas) hasta los más específicos (equipos, subcomponentes e ítems mantenibles) como se muestra en la figura 5. Esto permite registrar indicadores clave como TPO, TPPR y CIF, priorizando tareas preventivas y correctivas según la criticidad de los activos. A nivel corporativo, su aplicación uniforma procesos, mejora la toma de decisiones y fortalece la gestión de activos en toda la organización, garantizando eficiencia y confiabilidad operativa



Figura 8. Clasificación de la Taxonomía con los niveles taxonómicos [11]

A continuación, se presentan los procedimientos de cálculos para los indicadores básicos anteriormente propuestos los cuales deberán ser integrados al módulo de SAP PM (a nivel de ítem mantenible según ISO 14224 [11]).

TPO: Tiempo Promedio Operativo (hasta llegar al fallo), unidad de medida en tiempo (horas, días, meses, etc.)

$$TPO = \frac{\sum TO}{n}$$

Donde:
TO: Tiempos Operativos, son aquellos en el cual el equipo o ítem mantenible se encuentra funcionando hasta llegar al fallo, unidad de medida en tiempo (horas, días, meses, etc.)
n: Número total de Tiempos Operativos.

TPFS: Tiempo Promedio Fuera de Servicio, unidad de medida en tiempo (horas, días, meses, etc.)

$$TPFS = \frac{\sum TFS}{n}$$

Donde:
TFS: Tiempo Fuera de Servicio, es el tiempo que se demora un activo en volver a la función para el cual se diseñó.
n: Numero de Tiempos Fuera de Servicio.
Nota: Este indicador técnico se puede descomponer en distintos tiempos fuera de servicio correspondientes a todos los procesos que debe pasar un permiso o repuesto antes de que el activo vuelva a estar en servicio (Mantenimiento, Adquisiciones, operaciones, etc.).

TPPR: Tiempo Promedio Para Reparar, unidad de medida en tiempo (horas, días, meses, etc.).

$$TPPR = \frac{\sum TPR}{n}$$

Donde:
TPR: Tiempo Para Reparar, es el tiempo que se demora en reparar el activo.
n: Número total de fallos en el periodo evaluado.

FF: Frecuencia de Fallas, unidad de medida en tiempo (horas, días, meses, etc.)

$$FF = \frac{1}{TPO}$$

Nota: este indicador permite visualizar la variabilidad (aumento o disminución) de fallas, por ende, es un indicador básico de confiabilidad.

CIF: Costos de Indisponibilidad por Falla, se mide en unidad monetaria entre tiempo (dólares/año, dólares/mes, dólares/día, etc.).

$$CIF = FF * TFS * (CD * CP)$$

Donde:
FF: Frecuencia de Fallas (fallas/día, fallas/mes, Fallas/año, etc.).
TFS: Tiempo Fuera deservicio (Horas/Fallas).

CD: Costos Directos por corrección, incluye costos de material y mano de obra (\$/hora)

CP: Costos de Penalización, incluye las detenciones de equipos o costos asociados a la falla (detenciones de líneas, demora en tiempos de elaboración, seguridad e impactos ambientales) (\$/hora).

D: Disponibilidad, se mide en % de relación del tiempo operativo.

$$D = \frac{TPO * TPR}{TPO} * 100\%$$

Donde:

TPO: Tiempo Promedio de Operación.

TPPR: Tiempo Promedio Para Reparar.

6.2.6. Aspectos clave relacionados con el proceso de análisis de fallas (ACR) (Fase 3 del MGM).

Se recomienda a la empresa Lipigas y por ende a la planta Con-Con implementar la metodología de Análisis Causa Raíz (ACR), comenzando por su aplicación en áreas piloto con el fin de cuantificar los aspectos más relevantes de esta metodología como: evaluar los eventos que generar una pérdida de función parcial o total en el sistema (indisponibilidad) y medir el impacto que los eventos generados pueden afectar a la operación, ambiente o seguridad de los trabajadores como de los activos. Esta metodología permite analizar de forma eficiente todas las perspectivas que pueden generar un evento crítico, por ende, permite la conformación de equipos de trabajo multidisciplinarios con el fin de recaudar la información desde el contexto de cada área. Todo esto debido a que no se utiliza ninguna metodología para analizar las fallas entre las áreas (operaciones, mantenimiento), existiendo la oportunidad de implementación para generar una retroalimentación y buscar soluciones efectivas y eficientes en el tiempo.

En primera instancia se deberá generar un equipo conformado por personal de las áreas de mantenimiento, operaciones, seguridad e higiene, y aquellos que se relacionen de forma directa con el o los activos evaluados.

Área evaluada:

Fase 3: Proceso de análisis de problemas (Análisis de Causa Raíz)

Calificación del área: 3.7

La normativa utilizada para la generación de las recomendaciones para consolidar el proceso de ACR son las siguientes:

- UNE-EN 62740:2015. Análisis de causa raíz (RCA) [21].
- ISO 31000:2018(es). Gestión del Riesgo – Directrices [8].

Para la fase 3 del MGM [2] la cual constituye el proceso de análisis de causa raíz (ACR), se deben identificar de manera sistemática las causas principales de los problemas para las cuales posteriormente se generan medidas correctivas para lograr erradicarlas de forma permanente. Con esto se busca minimizar el impacto que se produce por cada falla y aumentar la confiabilidad operativa de los activos, el cual permitirá minimizar los costos asociados a las fallas que sean crónicas o repetitivas. A partir de las brechas detectadas por la herramienta de diagnóstico AMORMS, se proponen recomendaciones para consolidar la aplicación del ACR

permitiendo identificar los modos de falla que posean mayor frecuencia en conjunto con el análisis detallado permitiendo implementar medidas correctivas eficaces que impulsen la mejora continua de la planta de envasado Con-Con.

- Crear equipos de trabajos multidisciplinarios principalmente del área de mantenimiento y operaciones que permitan visualizar el problema en el contexto de cada área para lograr consolidar la optimización del sistema o equipo a evaluar.
- Definir los modos de falla de los equipos críticos de la planta con el fin de maximizar el ahorro de las recomendaciones a emitir.
- Cuantificar el impacto de cada falla evaluada por el equipo generando recomendaciones mediante la metodología ACR con el fin de analizar el aporte de las recomendaciones al sistema o equipo y cuál sería el ahorro potencial dependiendo de la recomendación.
- Diseñar formatos de ACR estándar para su aplicación en la planta y si es posible en toda la organización permitiendo el benchmarking entre las plantas y consolidar la aplicación de las recomendaciones dependiendo del contexto operacional de cada una y así prevenir fallas futuras en equipos similares.
- Introducir el indicador CIF (Costos de Indisponibilidad por Fallas) en el módulo SAP PM, este se debe medir antes y después de la generación de las recomendaciones permitiendo analizar la efectividad de las recomendaciones y corregir en caso de ser necesario.

A continuación, se presenta un resumen de cómo debería implementarse la herramienta de análisis de causa raíz en la planta de envasado Con-Con.

- Definir el alcance del análisis: identificar los sistemas y equipos críticos de la planta priorizando las fallas más frecuentes y de mayor impacto (económico, ambiental, seguridad), mediante la utilización de indicadores de mantenimiento como el TPO y CIF.
- Formar un equipo de trabajo multidisciplinario: Seleccionar al personal de mantenimiento, operaciones e ingeniería que posean mayor experiencia en la planta y definir los roles y responsabilidades que poseerá en equipo, garantizando que todos comprendan los objetivos del ACR.
- Recopilar y analizar información preliminar: Recolectar datos históricos de fallas registradas en el módulo SAP PM (síntomas, modos de falla, frecuencia y consecuencias), a la vez que se revisan los informes generados por el área de mantenimiento, registros de producción y datos de inspección con el fin de identificar patrones y tendencias.
- Identificar las fallas funcionales y modos de falla: describir las funciones principales de los activos evaluados y determinar las fallas funcionales (equipo no cumple con los parámetros o función definida), lo que permitirá identificar los modos de falla específicos considerando las causas físicas, humanas y latentes.
- Determinar las causas raíz de las fallas: utilizar alguna metodología de la herramienta como: Árbol de fallas, diagrama Ishikawa, etc. (identificar cual metodología se adapta mejor al momento de identificar las fallas de cada equipo), posterior a esto se deberán validar las hipótesis planteadas en terreno, entrevistas con el personal o ensayos en laboratorio.
- Proponer e implementar soluciones correctivas: desarrollar planes de acción enfocado en eliminar las causas raíz

identificadas priorizando las soluciones en base a su viabilidad técnica y económica.

- Monitorear y evaluar los resultados: Realizar seguimiento de las recomendaciones emitidas con el fin de contrastar el panorama que se plantea en las recomendaciones vs el real.
- Documentar y estandarizar el proceso: actualizar la programación y procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo para evitar la ocurrencia de las fallas identificadas mediante el ACR.

Con la implementación de la metodología ACR en la planta de Con-Con se busca identificar y eliminar las causas raíz que generen mayor impacto en el proceso productivo como financiero, mejorando la confiabilidad operativa, optimización de recursos y reducción de costos asociados a las detenciones no planificadas.

6.3. BENEFICIOS POTENCIALES DE IMPLEMENTAR LOS PLANES DE MEJORA PROPUESTOS.

A continuación, se presenta un cuadro comparativo [2] en donde se evaluaron los indicadores definidos anteriormente en la planta de envasados de Con-Con para evaluar el estado actual y como beneficiaria la implementación de los planes de mejora que se desarrollaron a lo largo de este caso de estudio.

Indicadores técnicos y económicos	Antes de la implementación de la auditoria (2023)	Después de la implementación de la auditoria
TPO (Tiempo Promedio Operativo)	516	619,2
TPR (Tiempo Promedio de Reparación)	4,83	3,86
FF (Frecuencia de Fallas)	16,98	13,58
D (Disponibilidad)	90,8%	94%
CIF (Costes de indisponibilidad por Falla)	539.473.720	345.263.181
Costes del Proyecto	40.404.352	
Ahorro	(539.473.720-345.263.181-40.404.352) CLP/año = 153.806.187 CLP /año	

Tabla 10. Cuadro comparativo de como beneficiarían los planes de acción propuestos

Nota 1: Para el calculo de la disponibilidad se utiliza el valor que maneja Lipigas debido a que el historial de detenciones por falla no especifica todos los eventos debido a intermitencias en el sistema de recopilación de datos y por ende esta se calculo con los valores entregados por el sistema.

6.4. COSTES DEL PROYECTO

A continuación, se presentan los costos de las recomendaciones emitidas y sus especificaciones, estos valores serán considerados anualmente.

Ingeniero de confiabilidad	\$28.124.352
Curso de RCM	\$2.640.000
Cursos ISO 14224	\$2.100.000
Curso ACR	\$2.640.000
Curso ISO 55000	\$2.100.000
Curso Auditor ISO 55000	\$1.000.000
Curso gestión del mantenimiento	\$1.800.000
total	\$40.404.352

Tabla 11: Costos del proyecto [24, 25, 26,27, 28, 29, 30]

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La implementación de la herramienta de diagnóstico AMORMS en la planta de envasado de GLP Con-Con de Lipigas ha permitido evaluar el estado actual del área de mantenimiento identificando las áreas críticas en la gestión de mantenimiento y con ello las brechas de oportunidad, destacando la necesidad de fortalecer procesos clave como el análisis de costos de ciclo de vida (Fase 7 del MGM), la programación y planificación de mantenimiento (Fases 4 y 5), y la integración de tecnologías avanzadas. Los resultados indican que, aunque la planta cuenta con una estructura sólida, existen oportunidades de mejora que, al ser abordadas, incrementarán significativamente la confiabilidad operativa, la disponibilidad de los activos y la reducción de costos asociados a fallas.

Entre las principales recomendaciones destaca la implementación del modelo LCCA, el fortalecimiento del análisis de causa raíz (RCA) y la reincorporación del sistema SAP PM, los cuales no solo optimizarán los procesos operativos, sino que también alinearán las estrategias de mantenimiento con los objetivos corporativos. La evaluación mediante indicadores clave como TPO, TPR y CIF permitirá medir objetivamente los impactos de las mejoras propuestas.

Finalmente, este estudio posiciona a la planta de Con-Con como un referente en la adopción de estrategias de mantenimiento basadas en estándares internacionales, sentando las bases para una gestión más eficiente y sostenible en toda la organización mediante una evaluación de los indicadores técnicos-económicos propuestos, los cuales permiten que sea viable la implementación de los planes de mejora propuestos los cuales deberán evaluarse mediante el proceso de aplicación y después de 2 años de la implementación de estos para generar un monitoreo continuo de estos y ajustar en caso de ser necesario.

REFERENCIAS.

- [1]. Parra, C., Morán, C., Pizarro, F., Duque, P., Aránguiz, A., González-Prida, V., & Parra, J. (2024). Implementation of the Asset Management, Operational Reliability and Maintenance Survey in Recycled Beverage Container Manufacturing Lines. *Information*, 15(12), 784. <https://doi.org/10.3390/info15120784>
- [2]. Parra, C & Crespo, A (2015). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada en la Gestión de Activos*. Segunda edición, IN-GEMAN, Sevilla, España.
- [3]. Pinto, F& Parra, C (2024). *Marco Conceptual de la técnica de diagnóstico AMORMS: ASSET MANAGEMENT, OPERATIONAL RELIABILITY & MAINTENANCE SURVEY*. Universidad Técnica Federico Santa María, Viña del Mar, Chile.
- [4] Woodhouse, J. 1996. "Managing Industrial Risk", Chapman Hill Inc, London.
- [5]Pablo Duque Ramírez, "Propuestas de mejoras a unidad de mantenimiento mediante aplicación de auditoría de mantenimiento en planta manufacturera de productos cosméticos," Tesis de maestría, Departamento de industrias, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile, 2024.
- [6]. Empresas Lipigas S.A., "Memoria Integrada 2023: Estrategia de Cambio Climático y Transición Energética," Apoquindo 5400, Piso 15, Las Condes, Santiago, Chile, 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.lipigas.com>. [Accedido: 11-Oct-2024].
- [7]. ISO 15663:2021, "Industrias del petróleo, petroquímica y gas natural: cálculo del coste del ciclo de vida," International Organization for Standardization, Ginebra, Suiza, 2021.
- [8]. ISO 31000:2018, "Gestión del riesgo — Directrices," Organización Internacional de Normalización (ISO), Ginebra, Suiza, 2018.
- [9]. Woodward, D. G. (1997). Life Cycle Costing - Theory, Information Acquisition and Application. *International Journal of Project Management*, Vol. 15, No. 6, pp. 335-344.
- [10]. Parra, C & Viveros, P (2020). *Técnicas de costes del ciclo de vida para la toma de decisiones en la optimización del mantenimiento. Caso de estudio: Industria del petróleo y gas*. Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Industrias, Valparaíso, Chile
- [11]. ISO 14224:2016, "Petroleum and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment," International Organization for Standardization, 2016.
- [12]. SAE JA 1011, "Evaluation of Reliability Centered Maintenance (RCM) Processes," Society of Automotive Engineers, 2018.
- [13]. SAE JA 1012, "Guidelines for Developing and Evaluating Reliability-Centered Maintenance Processes," Society of Automotive Engineers, 2016.
- [14] UNE-EN 17007:2018, "Guía para la evaluación de la usabilidad de productos y sistemas," Asociación Española de Normalización (UNE), 2018.
- [15]. Zorrilla Ñ & Aliaga, J (2010). *Aplicación del RCM en maquinarias pesadas, para optimizar la disponibilidad de las máquinas y elevar el nivel arrendaequipos* S.A.S. Obtenido de: <https://www.arrendaequipos.com/vibRocompactadores-para-cons>
- [16]. C. Parra, "Curso Facilitadores Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)/Reliability Centered Maintenance (RCM),"

- en Cursos educación continua USM Chile, Jan. 2024. doi: 10.13140/RG.2.2.34691.48164
- [17]. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), "UNE-EN 16646:2015 - Diseño y desarrollo de productos y servicios: Integración de los conceptos de sostenibilidad en el ciclo de vida," AENOR, 2015.
- [18]. International Organization for Standardization, "ISO 55001:2014 - Asset management — Management systems — Requirements," ISO, 2014.
- [19]. UNE 15341:2020+A1:2023, "Indicadores clave de rendimiento del mantenimiento," AENOR, 2023.
- [20]. ISO 9001:2015, "Sistemas de gestión de la calidad — Requisitos," International Organization for Standardization, 2015.
- [21]. Herrera-Sánchez, L. del C. Morán-Bravo, J. L. Gallardo-Navarro, y A. Silva-Juárez, "Gestión del mantenimiento y la industria 4.0," *Revista de Ingeniería Innovativa*, dic. 2020.
- [22]. UNE-EN 60300-3-11:2013, "Gestión de la confiabilidad. Guía de aplicación. Mantenimiento centrado en la fiabilidad," AENOR, 2013.
- [23]. UNE-EN 62740:2015, "Análisis de causa raíz (RCA)," AENOR, 2015.
- [24]. R MedioRobert Half , 2024 [En línea], <https://www.roberthalf.com/cl/es/vacantes-detalles/ingeniero-de-procesos> . [Accedido el 21-12-2024].
- [25]. Universidad Técnica Federico Santa María - Departamento de Ingeniería Mecánica, 2024. [En línea]. <https://mecanica.jmc.usm.cl/cursos/curso-de-facilitadores-en-la-tecnica-analisis-causa-raiz/> [Accedido el 21-12-2024].
- [26]. BCh Consulting , 2024. [En línea]. <https://www.bch.cl/curso-taxonomia-iso-14224-gestion-de-activos-electricos-sgiie.html> [Accedido el 21-12-2024].
- [27]. RedCapacitación,, 2024 <https://redcapacitacion.cl/curso/gestion-de-activos-fisicos-acorde-a-iso-55000/15883> [Accedido el 23-12-2024].
- [28]. Universidad Técnica Federico Santa María - Educación Continua , 2024. [En línea]. <https://educacioncontinua.usm.cl/noticias/i-version-curso-de-facilitadores-en-la-tecnica-mantenimiento-centrado-en-la-confiabilidad-rcm/> [Accedido el 23-12-2024]
- [29]. Bureau Veritas, "Web: Auditor Líder de la Norma ISO 55001:2014 - Sistemas de Gestión de Activos", Bureau Veritas Chile , 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.bureauveritas.cl/es/catalogo-de-cursos/web-auditor-lider-de-la-norma-iso-550012014-sistemas-de-gestion-de-activos> . [Accedido el 23-12-2024].
- [30]. RedCapacitación, "Gestión de Mantenimiento", RedCapacitación , 2024. [En línea]. Disponible: <https://redcapacitacion.cl/curso/gestion-de-mantenimiento/10280> . [Accedido el 23-12-2024]

ANEXOS

1. Gestión de Activos, Objetivos del Negocio (KPIs) y Organización de Soporte

1.1 Visión Gerencial & Liderazgo

1.1.1 ¿Existen Directrices Corporativas sobre el proceso de Gestión de Activos?

1.1.2 ¿Existe Conciencia de la Gestión de Activos y su Administración? (Roles/Alcances/Responsabilidades)

1.1.3 ¿Existe un Control detallado sobre los objetivos del negocio desde la Gerencia Corporativa?

1.1.4 ¿Tiene la Gerencia Corporativa un liderazgo integral y sostenible sobre el negocio? (Control Sostenible)

1.1.5 ¿La Gerencia Corporativa, las gerencias intermedias y los niveles técnicos y de ejecución comparten de forma eficiente el liderazgo del negocio? (Empoderamiento)

1.2 Plan Integral de Gestión de Activos

1.2.1 ¿La organización cuenta con un modelo integral de gestión de activos incluida en su visión y misión?

1.2.2 ¿Existe un plan integral diseñado para implantar los diversos procesos propuestos por el modelo de gestión de activos?

1.2.3 ¿Existe un plan de Gestión de Activos a largo plazo y está integrado con los objetivos y metas del negocio?

1.2.4 ¿Las técnicas de ingeniería de confiabilidad y mantenimiento están vinculadas con los procesos propuestos por el modelo de gestión de activos?

1.2.5 ¿Se tiene definido un proceso integral de auditoría y mejora continua del modelo de gestión de activos a ser implementado?

1.3 Políticas Integrales de Mantenimiento (Gerencial)

1.3.1 ¿Existe una política de mantenimiento integrada con la Gestión Corporativa del negocio?

1.3.2 ¿Las políticas de mantenimiento de corto, mediano y largo plazo, ¿están ajustadas a la realidad del negocio?

1.3.3 ¿La política de mantenimiento ha sido creada de acuerdo con las políticas estratégicas del negocio?

1.3.4 ¿Las políticas de operación y mantenimiento están vinculadas e integradas con los objetivos y metas del negocio?

1.3.5 ¿Las políticas de Mantenimiento y Confiabilidad están integradas con la visión y misión del negocio?

1.4 Estructura Organizacional

1.4.1 ¿Existe de forma general una estructura organizacional bien definida?

1.4.2 ¿Existe una estructura organizacional eficiente para gestionar los procesos de mantenimiento y confiabilidad (están claras las responsabilidades de los grupos de confiabilidad)?

1.4.3 ¿Existe una estructura organizacional eficiente para gestionar las operaciones?

1.4.4 ¿La Organización tiene grupos específicos relacionados con la implantación de técnicas en las áreas de Confiabilidad y Mantenimiento?

1.4.5 ¿La Organización tiene una estructura administrativa y técnica, orientada a soportar el proceso integral de Gestión de Activos?

1.5 Control Financiero (KPIS claves del negocio)

1.5.1 ¿Existe un procedimiento bien desarrollado para gestionar el control financiero (KPIS claves del negocio)?

1.5.2 ¿Los procesos de control financiero se aplican a partir del análisis de los KPIS claves de forma continua y no de forma eventual?

1.5.3 ¿El sistema de control financiero es monitoreado y auditado de forma eficiente?

1.5.4 ¿El control financiero está totalmente vinculado con las metas y objetivos de la organización?

1.5.5 ¿El proceso de control de los KPIS financieros están integrado con los procesos indicadores técnicos y económicos de las áreas de mantenimiento y confiabilidad?

2. Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (Criticidad de Activos)

2.1 Gestión de Riesgos

2.1.1 ¿Está definida de forma clara la política integral de gestión de Riesgos alineada con el modelo de Gestión de Activos?

2.1.2 ¿Existe un proceso integral de gestión para el control del riesgo en las áreas de mantenimiento y confiabilidad?

2.1.3 ¿Existe un proceso eficiente para comunicar los diferentes niveles de riesgos que están expuestos los integrantes de las áreas de mantenimiento y confiabilidad?

2.1.4 ¿Los riesgos en los procesos de mantenimiento y confiabilidad, ¿son analizados, revisados y actualizados en forma regular?

2.1.5 ¿La organización utiliza modelos de gestión de riesgo como base para la toma de decisiones en las áreas de mantenimiento y confiabilidad?

2.2 Priorización de equipos

2.2.1 ¿La organización ha desarrollado un modelo de criticidad de equipos basados en Riesgo?

2.2.2 ¿El modelo de Riesgo priorización de equipos esta alineado con los objetivos del negocio?

2.2.3 ¿La información utilizada para estimar la frecuencia y la de las fallas es tomada de una fuente confiable y veraz?

2.2.4 ¿El modelo de priorización de equipos es un modelo estándar para toda la organización y es utilizado en todas las áreas operacionales de la organización?

2.2.5 ¿Los resultados de jerarquización de equipos se utilizan para tomar decisiones de mejora en la operación y mantenimiento de los activos?

2.3 Gestión de los procesos de Seguridad, Salud y Ambiente

2.3.1 ¿Existe un plan eficiente de emergencias y contingencias en la organización?

2.3.2 ¿Se ha comunicado al personal sobre las potenciales consecuencias sobre los eventos que pueden afectar seguridad, la salud y el ambiente?

2.3.3 ¿Se tiene desarrollada una política de emergencias y seguridad bien documentada y comunicada?

2.3.4 ¿Los planes de emergencias y seguridad son revisados, mejorados y actualizados de forma continua?

2.3.5 ¿Los planes de emergencias están certificados por organizaciones locales e internacionales reconocidas?

3. Proceso de Análisis de Problemas (Análisis de Causa Raíz)

3.1 Gestión de las fallas

3.1.1 ¿Existe un procedimiento estándar para gestionar las fallas en toda la organización?

3.1.2 ¿El procedimiento de análisis de fallas es de fácil aplicación y es aceptado por toda la organización?

3.1.3 ¿Existe un proceso eficiente sobre la información recopilada en los análisis de fallas (proceso eficiente de documentación y registro)?

3.1.4 ¿El proceso de análisis de fallas es llevado a cabo por equipos interdisciplinarios que permitan validar con hechos reales las causas encontradas?

3.1.5 ¿El proceso de gestión de fallas tiene indicadores previamente definidos y analizados, que permitan medir la eficiencia y la efectividad de las recomendaciones emitidas (el proceso de análisis de fallas está incorporado a un proceso de mejoramiento continuo)?

3.2 Equipos multidisciplinarios de optimización

3.2.1 ¿Los trabajadores están bien organizados y motivados para el logro de los objetivos del negocio?

3.2.2 ¿El ambiente de trabajo es propicio para realizar análisis que promuevan cambios y procesos de mejora?

3.2.3 ¿Existe un proceso eficiente de comunicación entre la gerencia de la organización y el resto de los niveles administrativos?

3.2.4 ¿La estructura organizacional de los trabajadores está orientada a soportar el proceso integral de gestión de activos?

3.2.5 ¿Existe un proceso estándar que promueva a los trabajadores a participar en equipos multidisciplinarios?

3.3 Métodos de Análisis de Fallas

3.3.1 ¿La organización utiliza un método estándar de análisis de fallas para toda la organización?

3.3.2 ¿La metodología de Análisis de Fallas permite identificar el área de oportunidad en función de nivel de Riesgo provocado por los modos de fallas?

3.3.3 ¿La metodología de Análisis de Fallas propone un procedimiento que permita validar de forma eficiente las hipótesis planteadas (validación con hechos reales)?

3.3.4 ¿Las recomendaciones generadas de los análisis de fallas son seleccionadas a partir de un procedimiento de Análisis Costo Riesgo Beneficio?

3.3.5 ¿Se evalúan y auditan los resultados reales de las acciones recomendadas una vez finalizados los análisis de fallas?

4. Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento, inspección y operaciones.

4.1 Programación y planificación

4.1.1 ¿Existe definida una estrategia a nivel gerencial de optimización del mantenimiento?

4.1.2 ¿Existe un proceso detallado y eficiente de programación y planificación del mantenimiento?

4.1.3 ¿Se cumplen de forma eficiente las Estrategias de Planificación y Programación para el mantenimiento de los equipos?

4.1.4 ¿Las estrategias de planificación y programación del mantenimiento están alineadas con el plan de negocio de la organización?

4.1.5 ¿Las estrategias de planificación y programación del mantenimiento se analizan y se auditan los resultados de aplicación de estas estrategias?

4.2 Procedimientos e instructivos de trabajos

4.2.1 ¿Existe una estructura que permita documentar los procedimientos e instructivos de trabajo?

4.2.2 ¿Existe un marco general de referencia y soporte para generar documentación sobre los procedimientos e instructivos de trabajo?

4.2.3 ¿Existe un sistema de control documental alineado con algún estándar local o internacional?

4.2.4 ¿Los procedimientos de trabajo son utilizados activamente por toda la fuerza de trabajo?

4.2.5 ¿Las mejoras a los procedimientos de trabajo son realizadas e incluidas en los planes de adiestramiento del personal?

4.3 Planes de Mantenimiento por Condición (técnicas predictivas)

4.3.1 ¿Existe un proceso eficiente de gestión del mantenimiento por condición?

4.3.2 ¿Se realizan actividades de mantenimiento por condición de forma organizada y continua?

4.3.3 ¿Existe un plan de monitoreo de condiciones basado en el nivel de criticidad por Riesgo de los activos de la organización?

4.3.4 ¿El monitoreo de condiciones es parte integral de una estrategia de optimización del mantenimiento?

4.3.5 ¿El proceso de monitoreo de condiciones de la compañía es auditado y se le hace seguimiento a la efectividad de las recomendaciones emitidas?

4.4 Técnicas de optimización en las áreas de Confiabilidad, Mantenimiento y Operaciones

4.4.1 ¿La organización ha desarrollado un modelo guía de implantación de las metodologías de Confiabilidad y Mantenimiento, orientado a cumplir con los objetivos del negocio?

4.4.2 ¿La organización cuenta con un grupo de soporte encargado de administrar y facilitar las herramientas de Confiabilidad y Mantenimiento?

4.4.3 ¿Se aplican de forma organizada y constante los diferentes métodos de Confiabilidad y Mantenimiento (RCM, RCA, TPM, RBI, ¿Lean)?

4.4.4 ¿Se miden, auditan y confirman los resultados de las aplicaciones de los métodos de Confiabilidad y Mantenimiento?

4.4.5 ¿Se revisan y actualizan los métodos de Confiabilidad y Mantenimiento (se toman en cuenta las novedades, actualizaciones y desarrollo de nuevos métodos de optimización)?

5. Procesos de asignación de recursos, soporte informático y soporte logístico a los procesos de Mantenimiento y Confiabilidad

5.1 Sistema de soporte informático de mantenimiento (software de mantenimiento)

5.1.1 ¿Existe un sistema eficiente de soporte informático para el mantenimiento?

5.1.2 ¿El diseño de las órdenes de trabajo dentro del software es adecuado y se utiliza de forma eficiente?

5.1.3 ¿El sistema de órdenes de trabajo ayuda a mejorar los procesos de programación y planificación del mantenimiento?

5.1.4 ¿El software de mantenimiento es utilizado en forma extensa por toda la organización, incluyendo todos los tipos de paros (correctivos, preventivos, por condición, detenciones mayores, seguimiento de componentes de fallas, etc.)?

5.1.5 ¿El sistema de soporte informático de mantenimiento genera de forma automática indicadores técnicos y económicos, los cuáles son ampliamente usados por toda la organización para mejorar la toma de decisiones?

5.2 Sistema de control de documentos

5.2.1 ¿Existe un sistema general de administración de documentos técnicos de mantenimiento (planos, P&D, flujogramas de procesos, manual de operaciones, etc.)

5.2.2 ¿Existe un sistema de administración de documentos que integre la información del mantenimiento con las otras áreas de la organización?

5.2.3 ¿Existe un sistema de administración de documentos que cumpla con alguna norma o estándar de calidad?

5.2.4 ¿El sistema de administración de la documentación está totalmente implementado de forma informática?

5.2.5 ¿El sistema de administración de documentos, está en línea para toda la organización y se usa de forma amplia y eficiente?

5.3 Manejo de repuestos, materiales (logística)

5.3.1 ¿El proceso de general de abastecimiento y logística de repuestos es eficiente?

5.3.2 ¿El proceso de abastecimiento y planificación de materiales es organizado y tiene un flujo ordenado y bien controlado?

5.3.3 ¿El proceso de manejo y planificación de materiales está desarrollado para toda la planta?

5.3.4 ¿El proceso de abastecimiento y planificación de materiales está integrado de forma eficiente con el área de mantenimiento?

5.3.5 ¿El proceso de Abastecimiento y planificación de materiales tiene indicadores de optimización integrados a nivel de los objetivos del negocio que son evaluados, analizados, utilizados y auditados de forma continua?

5.4 Procesos de administración de la bodegas e inventarios

5.4.1 ¿La administración del inventario es llevada a cabo por una organización bien estructurada para esta función?

5.4.2 ¿La administración del inventario es llevada y controlada por una herramienta de soporte informática?

5.4.3 ¿El proceso de administración de la bodega y manejo de inventarios, incluye indicadores de optimización de repuestos utilizando técnicas de análisis de Riesgo?

5.4.4 El software de administración de los repuestos genera de forma automática, ¿indicadores de análisis de inventarios que son utilizados para optimizar los diversos procesos de la gestión de materiales?

5.4.5 ¿Los procesos de administración de abastecimiento y manejo de inventarios están orientados a lograr los objetivos del proceso de Gestión de Activos?

6. Procesos de control y análisis de indicadores técnicos del negocio (RAM)

6.1 Indicadores de desempeño técnico

6.1.1 ¿Existe un proceso de eficiente de registro de la información histórica de los equipos?

6.1.2 ¿Se realizan de forma eficiente análisis de mejora sobre la información histórica de fallas y operación de los equipos?

6.1.3 ¿Existe un programa estándar de análisis de indicadores implementado de forma eficiente?

6.1.4 ¿Se realizan análisis sistemáticos de fallas a partir de indicadores de riesgo previamente definidos?

6.1.5 ¿La organización evalúa y toma decisiones a partir de indicadores de mejora en confiabilidad y mantenibilidad de forma eficiente (MTTF, MTTR, Disponibilidad, ¿etc.)?

6.2 Programas de revisión de los planes de mantenimiento

6.2.1 ¿Se realizan análisis de mejora sobre los diferentes tipos de mantenimientos ejecutados?

6.2.2 ¿Se toman acciones sobre los análisis realizados a los diferentes tipos de mantenimientos ejecutados?

6.2.3 ¿El análisis de los mantenimientos ejecutados, es realizado de forma eficiente y sistemática?

6.2.4 ¿Las recomendaciones realizadas a partir del análisis de los mantenimientos ejecutados, son tomadas en cuenta y se auditan los resultados de las acciones emitidas?

6.2.5 ¿Se realiza algún proceso de benchmarking con relación a los indicadores de mantenimiento y confiabilidad?

6.3 Procesos de control de las operaciones

6.3.1 ¿Existe un procedimiento dónde se detallen los procesos operacionales?

6.3.2 ¿Se relacionan los procesos operacionales con todas actividades de producción? 6.3.3 ¿Se relaciona las estrategias operacionales con las estrategias del mantenimiento?

6.3.4 ¿Están vinculadas de forma eficiente las metas operacionales con la planificación de las actividades de mantenimiento?

6.3.5 ¿Están integradas las estrategias de operación y producción con los procesos de programación y planificación del mantenimiento?

6.4 Control de contratistas

6.4.1 ¿El uso de contratistas es eficiente y se tienen modelos de contratos establecidos por áreas y tipos de trabajo?

6.4.2 ¿Los contratos de corto y largo plazo están totalmente estandarizados?

6.4.3 ¿Existe un proceso de validación y auditoría de las credenciales de las contratistas que participan en los diferentes procesos de mantenimiento y operación?

6.4.4 ¿Existen un proceso eficiente de evaluación del desempeño real de los contratistas, que sea constantemente monitoreado y que permita tomar acciones sobre las desviaciones encontradas?

6.4.5 ¿Los contratos de negocios establecidos con los contratistas están totalmente alineados en términos de estrategias con los objetivos y metas del negocio?

6.5 Gestión de talleres

6.5.1 ¿La organización cuenta con un servicio eficiente propio o contratado de talleres para actividades de mantenimiento?

6.5.2 ¿Existe un proceso interno que permita evaluar el desempeño de los servicios prestados por los talleres?

6.5.3 ¿Existe un modelo de contrato estándar desarrollado para todos los servicios solicitados a los talleres?

6.5.4 ¿Existe un procedimiento específico que permita evaluar los tiempos de entrega, los costos y la calidad de ejecución de los servicios ofrecidos por los talleres?

6.5.5 ¿Existe un modelo de auditoría y benchmarking certificado bajo una norma local o internacional, que permita evaluar los Servicios ofrecidos por los talleres?

7. Procesos de Análisis de Costos de Ciclo de Vida

7.1 Asset Life Cycle Cost Management

7.1.1 ¿Existe un procedimiento eficiente de análisis del ciclo de vida de los activos?

7.1.2 ¿Se analiza y se pronostica el ciclo de vida de los activos de la organización?

7.1.3 ¿Existe un proceso de evaluación del impacto económico de la Confiabilidad en el ciclo de vida de los activos (Modelos Woodard, Willans and Scott, etc.)?

7.1.4 ¿El proceso de Análisis de Ciclo de vida de los activos es llevado a cabo por equipo multidisciplinario de toda la organización en dónde participan los grupos de operaciones y mantenimiento?

7.1.5 ¿Se documenta de forma eficiente la información del ciclo de vida de los activos y se auditan los resultados de Ciclo de Vida de los equipos seleccionados?

7.2 Manejo de información en el Ciclo de Vida del Activo

7.2.1 ¿La administración de la organización revisa regularmente los factores claves de su sistema de gestión de activos (incluyendo política de gestión de activos, estrategia, objetivos, y planes) para asegurar su eficacia, adecuación y conveniencia a lo largo de todo el Ciclo de Vida?

7.2.2 ¿La información económica y técnica (factores claves de la gestión de activos) es considerada para la revisión, seguimiento y sustitución de los equipos?

7.2.3 ¿La organización usa la información económica y técnica para mejorar continuamente su sistema de gestión de activos global a lo largo de todo el Ciclo de Vida?

7.2.4 ¿La organización asegura que los resultados de las revisiones realizadas a los factores claves de la gestión de activos, esté disponible, para que la alta dirección tome en cuenta los resultados obtenidos, durante el análisis y la revisión de los planes estratégicos de la organización a lo largo de todo el Ciclo de Vida?

7.2.5 ¿La organización mantiene los registros de las revisiones de los factores claves de la gestión de activos y comunica información relevante a los empleados, proveedores de servicios contratados u otras áreas relacionadas (interesadas - stakeholders) con el proceso de gestión de activos a lo largo de todo el Ciclo de Vida?

7.3 Mantenimientos especiales (paradas de plantas, overhauls, etc.)

7.3.1 ¿Las detenciones mayores son implementadas en forma ordenada bajo un modelo de gestión de grandes paradas de plantas?

7.3.2 ¿Las detenciones mayores son implementadas por grupos a dedicación exclusiva?

7.3.3 ¿Las detenciones mayores son programadas, planificadas y ejecutadas bajo el uso de herramientas de optimización de confiabilidad y riesgo?

7.3.4 ¿Existe un proceso de registro de las detenciones mayores que permita recopilar las lecciones aprendidas y todas las actividades son especificadas y estandarizadas?

7.3.5 ¿Existe una estrategia de integral de optimización de los procesos paradas de plantas, se auditan y se realizan análisis de benchmarking y de mejora continua?

8. Proceso de revisión y mejora continua

8.1 Control de Calidad

8.1.1 ¿Existe un modelo eficiente de gestión de la calidad dentro del área de mantenimiento?

8.1.2 ¿Existe el conocimiento de que la calidad contribuye a la mejora del desempeño de los procesos de mantenimiento y confiabilidad?

8.1.3 ¿La organización del mantenimiento está alineada con los programas de mejoramiento de la calidad?

8.1.4 ¿La organización de mantenimiento ha sido acreditada en alguna norma relacionada con la calidad?

8.1.5 ¿La compañía está acreditada en alguna norma de la calidad y se ha incorporado el proceso de gestión de la calidad dentro del mantenimiento?

8.2 Programas de mejora continua

8.2.1 ¿Las mejoras en los procesos de mantenimiento y confiabilidad son llevadas de forma ordenada y actualizadas bajo un modelo específico?

8.2.2 ¿Existe un marco de referencia para incluir mejoras en los procesos de mantenimiento y confiabilidad?

8.2.3 ¿Existe un programa de seguimiento a las propuestas de mejoras en las áreas de mantenimiento y confiabilidad?

8.2.4 ¿El proceso de Mejora continua es una práctica común en las áreas mantenimiento y confiabilidad?

8.2.5 ¿El proceso de mejora continua es una práctica estándar de todos los negocios que conforman el proceso industrial analizado?

8.3 Programas de desarrollo de personal

8.3.1 ¿La organización cuenta con un departamento que se encargue del proceso de adiestramiento formal al personal de toda la organización?

8.3.2 ¿Se provee de adiestramiento eficiente al personal nuevo de la organización?

8.3.3 ¿Existe un plan de entrenamiento específico y ajustado a todo el ciclo de vida del trabajador?

8.3.4 ¿El programa de adiestramiento de todo el personal está adecuado al puesto de trabajo y está orientado a lograr los objetivos del negocio?

8.3.5 ¿El programa de entrenamiento incluye formación en las áreas de técnicas modernas de mantenimiento, confiabilidad y gestión de activos?