

Aplicación del Modelo de Gestión de Mantenimiento (MGM) alineado a un proceso integral de Gestión de Activos. Caso de estudio: SINEA Perú

Application of the Maintenance Management Model (MGM) aligned with an Asset Management process. Case study: SINEA Peru

[10.29073/rae.v3i1.968](https://doi.org/10.29073/rae.v3i1.968)

Recebido: 2 de junho de 2024.

Aprovado: 27 de janeiro de 2025.

Publicado: 3 de fevereiro de 2025.

Autor/a 1: Carlos Parra, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, carlos.parram@usm.cl.

Autor/a 2: Carlos Morán, SMI, Planta SINEA, Peru, amoran@sv.smi.com.pe.

Autor/a 3: Andrés Aránquiz, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, andres.aranguiz@usm.cl.

Autor/a 4: Félix Pizarro, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, felix.pizarro@usm.cl.

Autor/a 5: Pablo Duque, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, pablo.duque@usm.cl.

Autor/a 6: Vicente González-Prida, Universidad de Sevilla, Espanha, vgonzalezprida@us.es.

Autor/a 7: Jorge Parra, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, jorpe.parra@utp.ac.pa.

Resumo (ES)

La efectividad de un proceso integral de gestión del mantenimiento y de la confiabilidad, puede ser evaluada, a partir del análisis detallado de una amplia variedad de factores que, en su conjunto, constituyen la aportación del mantenimiento a los procesos de operación y producción de un activo industrial. No hay fórmulas simples que permitan diseñar un modelo integral de mantenimiento y confiabilidad dentro de un proceso de gestión de activos (bajo el enfoque del estándar ISO 55001), tampoco hay reglas fijas o inmutables con validez para siempre y aplicables de la misma forma para todos los activos de producción. En función de los argumentos expuestos, el objetivo principal de este artículo consiste, en presentar un resumen del proyecto de implantación de la herramienta AMORMS (Asset Management, Operational Reliability Survey), basada en el Modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM) desarrollado por INGEMAN, en la Planta SINEA PERÚ, empresa líder en Latinoamérica en la fabricación industrial de envases de plástico reciclado para bebidas comerciales (preformas PET — Tereftalato de Polietileno).

A continuación, se describen los aspectos de mayor relevancia desarrollados en el proyecto y que serán analizados en el presente artículo:

- Identificación de los factores claves que ayuden a mejorar el desempeño de los activos a partir de la aplicación de técnicas de optimización de gestión del mantenimiento y de ingeniería de confiabilidad, integradas a un modelo de Gestión de Activos.
- Evaluación de los procesos críticos del Modelo de Gestión de Mantenimiento y Confiabilidad (MGM) propuesto, bajo el marco de referencia de un proceso de Gestión de Activos (normas relacionadas: UNE 16646 e ISO 55001).
- Propuesta de conformación de un grupo de soporte de Ingeniería de Confiabilidad, orientado a implementar las acciones propuestas a partir de la aplicación del MGM.
- Análisis de los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la herramienta de diagnóstico AMORMS: Asset Management, Operational Reliability and Maintenance Survey); y de las técnicas de RCA (Root Cause Analysis) y RCM (Reliability Centered Maintenance), en un área piloto de la Planta SINEA PERÚ.

Finalmente, se describen las recomendaciones y planes de acción de mayor impacto, que ayudarán a la organización SINEA PERÚ, a consolidar la eficacia de sus procesos de gestión del mantenimiento y de la confiabilidad y a optimizar de forma eficiente, el valor de sus activos industriales a lo largo del ciclo de vida útil.

Palavras-Chave: Activos; Confiabilidad; Gestión; Mantenimiento; Riesgos.

Abstract

The effectiveness of a comprehensive maintenance and reliability management process can be evaluated through a detailed analysis of a wide variety of factors that, together, constitute the contribution of maintenance to the operation and production processes of an industrial asset. There are no simple formulas that allow the design of a comprehensive maintenance and reliability model within an asset management process (under the ISO 55001 standard). There are also no fixed or immutable rules that are universally valid and applicable in the same way to all production assets. Based on the arguments presented, the main objective of this article is to present a summary of the implementation project of MGM: Maintenance Management Model developed by INGEMAN, at the SINEA PERÚ Plant, a leading company in Latin America in the industrial manufacturing of recycled plastic containers for commercial beverages (PET — Polyethylene Terephthalate preforms).

Next, the most relevant aspects developed in the project and that will be analyzed in this article are described:

- Identification of key factors that help improve asset performance through the application of maintenance management optimization techniques and reliability engineering, integrated into an Asset Management Model.
- Evaluation of critical processes of the proposed Maintenance and Reliability Management Model (MGM) under the framework of an Asset Management process (related standards: UNE 16646 and ISO 55001).
- Proposal for the formation of a Reliability Engineering support group aimed at implementing the proposed actions based on the application of the MGM.
- Analysis of the results obtained from the application of the diagnostic tool AMORMS: Asset Management, Operational Reliability, and Maintenance Survey); and from the techniques of RCA (Root Cause Analysis) and RCM (Reliability Centered Maintenance), in a pilot area of the SINEA PERÚ Plant.

Finally, the recommendations and action plans with the greatest impact are described, which will help the SINEA PERÚ organization consolidate the effectiveness of its maintenance and reliability management processes and efficiently optimize the value of its industrial assets throughout their life cycle.

Keywords: Assets; Maintenance; Management; Reliability; Risks.

1. Introducción a un Proceso Integral de Gestión de Mantenimiento

Tal como se define en las normas europeas UNE EN 16646: 2014 y UNE EN 13306: 2002, la moderna gestión de mantenimiento incluye todas aquellas actividades de gestión que: determinan los objetivos o prioridades de mantenimiento (que se definen como las metas asignadas y aceptadas por la dirección del departamento de mantenimiento), las estrategias (definidas como los métodos de gestión que se utilizan para conseguir esas metas u objetivos), y las responsabilidades en la gestión. Lo anterior permitirá luego, en el día a día, implementar estas estrategias planificando, programando y controlando la ejecución del mantenimiento para su realización y mejora, teniendo siempre en cuenta aquellos aspectos económicos relevantes para la organización [1].

Se puede demostrar [1, 2] que, para la gestión eficaz y eficiente del mantenimiento, es posible conseguir los anteriores puntos entendiendo bien los dos siguientes aspectos:

El proceso de gestión de mantenimiento, que tiene un curso de acción, es decir una serie de pasos a seguir y;

El modelo general de referencia para la gestión, es decir la estructura básica de soporte constituida por una serie de herramientas que conforman un sistema básico, que es necesario para una gestión avanzada del mantenimiento y de la confiabilidad [2].

El proceso de gestión de mantenimiento podemos dividirlo en dos partes principales [3]:



- La definición de la estrategia de mantenimiento;
- La implementación de la estrategia de mantenimiento.

La primera de estas partes, el proceso de definición de la estrategia de mantenimiento requiere la definición de los objetivos de mantenimiento como “input” del mismo. Obviamente, los objetivos de mantenimiento emanan directamente del plan de negocio de la organización en cuestión. Diseñar estrategias de mantenimiento que estén alineadas con los planes de negocio es un aspecto clave y condiciona la consecución de los objetivos del mantenimiento y en última estancia los reseñados en el plan de negocio de la organización [4, 5].

La segunda parte del proceso, la implementación de la estrategia tiene un distinto nivel de importancia y tienen que ver con nuestra habilidad para asegurar niveles adecuados de formación del personal, de preparación de los trabajos, con la selección de las herramientas adecuadas para realizar las diferentes tareas o, por ejemplo, con el diseño y consecución de la ejecución a tiempo de los diferentes programas de mantenimiento [6].

2. Propuesta de un Modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM)

A continuación, se concreta lo anteriormente comentado de forma sencilla y práctica, pensando siempre en facilitar a los gestores de mantenimiento la aplicación de los conceptos anteriores. Se presenta una propuesta de modelo genérico de gestión del mantenimiento (MGM) desarrollado por INGEMAN, España [1, 2, 7, 8], que tiene en cuenta e integra muchos de los modelos encontrados en la literatura hasta la fecha, o de los empleados en la práctica en empresas de amplia tradición y excelencia en este campo [9, 10, 11]. El modelo de gestión del mantenimiento (MGM) propuesto está compuesto por ocho bloques (Figura 1), que distinguen y caracterizan acciones concretas a seguir en los diferentes pasos del proceso de gestión de mantenimiento. Es un modelo dinámico, secuencial y en bucle cerrado que intenta caracterizar de forma precisa el curso de acciones a llevar a cabo en este proceso de gestión para asegurar la eficiencia, eficacia y mejora continua del mismo [12, 13, 14].

Tal y como se indica en la figura de referencia del MGM, los primeros tres bloques condicionan la eficacia de la gestión, los siguientes bloques aseguran la eficiencia y su mejora continua de la siguiente forma: Los bloques 4 y 5 incluyen acciones para la planificación y programación del mantenimiento, incluyendo por supuesto la planificación de la capacidad del departamento de mantenimiento. Los bloques 6 y 7 están dedicados a la evaluación y control del mantenimiento y del coste de los activos a lo largo de su ciclo de vida. Finalmente, el bloque 8 se centra en acciones para asegurar la mejora continua de la gestión.

Figura 1: Modelo de Gestión del Mantenimiento y de la Confiabilidad (MGM) [1, 2].





3. Caso de Estudio: Aplicación del MGM en la Organización SMI - Planta SINEA Perú

En los párrafos siguientes se presenta el caso práctico de aplicación del MGM en la Planta SINEA Perú (planta de envases PET (Tereftalato de Polietileno)). El proceso de implementación del MGM en la planta de envases PET, se inició con la aplicación de la herramienta de diagnóstico AMORMS: Asset Management, Operational Reliability and Maintenance Survey [15, 16], la cual, permite evaluar y definir las áreas de oportunidad de la Planta SINEA con respecto a las 8 fases propuestas en el MGM.

En la Planta SINEA PERÚ — SMI, actualmente, existen instaladas 15 líneas de compresión en la planta matriz de SINEA Perú, éstas se dedican a fabricación de tapas de plástico a través del proceso de compresión. Asimismo, el 100% de las máquinas pertenecen a la marca italiana SACMI. Las cuales se agrupan en función a la cantidad de herramientas que poseen, se puede encontrar de 24, 32, 48 y 64 moldes.

3.1. Procedimiento General de la Auditoría AMORMS

La auditoría denominada AMORMS: ASSET MANAGEMENT, OPERATIONAL RELIABILITY & MAINTENANCE SURVEY, desarrollada por Parra y Crespo [2], está diseñada bajo el enfoque de la gestión de activos y permite evaluar las 8 fases propuestas por el modelo de Gestión del Mantenimiento y de la Confiabilidad (MGM) (table 1). Las áreas a ser revisadas con la herramienta AMORMS son:

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

El proceso de análisis de las 8 áreas a diagnosticar se realiza a partir de un cuestionario guía de 150 preguntas. Cada participante evaluará cada una de las preguntas propuestas, asignando puntuaciones que irán desde el 0 hasta el 5, en función de la siguiente escala:

Tabla 1: Escala de evaluación Auditoría AMORMS.

Puntuación	Evaluación
0–1	Proceso muy deficiente
1–2	Proceso debajo del promedio
2–3	Proceso estándar promedio
3–4	Proceso con muy buenas prácticas
4–5	Proceso a nivel de Clase Mundial

3.1. Resultados Generales de la Auditoría AMORMS en la Planta SINEA Perú — SMI

La Figura 2 y la Tabla 2 presenta un resumen de los resultados de la auditoría AMORMS, ejecutada durante el período Enero–Mayo del 2023.



Figura 2: Resultados de la Auditoría AMORMS en Planta SINEA PERÚ.

Resultados Auditoría AMORMS
Organización: SMI
PLANTA SINEA PERÚ / MAYO 2023

Áreas Evaluadas	Calificación	Escala de calificación
1.Gestión de Activos, Objetivos del Negocios (KPIS) y organización de soporte	2,16	0 – 1 Proceso muy deficiente 1 – 2 Proceso debajo del promedio 2 – 3 Proceso estándar promedio
2.Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (criticidad de equipos)	2,23	3 – 4 Proceso con muy buenas prácticas 4 – 5 Proceso a nivel de Clase Mundial
3. Análisis de problemas (manejo de fallas)	1,96	•Puntuación promedio obtenida desviación estándar muestra: 0,19): 2.032 de un máximo de 5 puntos - Categoría obtenida: Proceso estándar promedio (5 categorías, se obtuvo la categoría 2 - 3)
4.Procesos de programación y planificación	1,87	
5.Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico	2,19	
6.Procesos de control y análisis de indicadores técnicos RAM	1,89	
7.Proceso de análisis de costos de ciclo de vida	1,78	
8.Procesos de revisión y mejora continua	2,18	

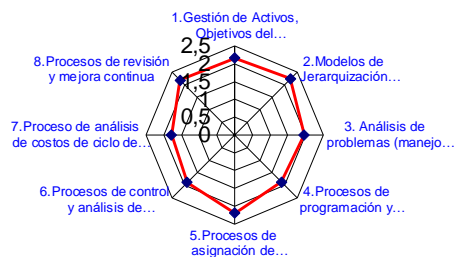


Tabla 2: Resumen de las preguntas “peor y mejor” evaluadas Auditoría AMORMS.

Tema de evaluación	Resultados
Resumen de resultados	Puntuación promedio obtenida: 2.032 de un máximo de 5 puntos Categoría obtenida: Proceso estándar promedio (5 categorías, se obtuvo la categoría 2–3) (muestra 16 personas diferentes áreas, desviación estándar de la muestra 0,19)
Preguntas peor evaluadas	# 7.1.3. ¿Existe un proceso de evaluación del impacto económico de la Confiabilidad en el ciclo de vida de los activos? (valor promedio: 1,39) # 6.1.2. ¿Se realizan de forma eficiente análisis de mejora sobre la información histórica de fallas y operación de los equipos? (valor promedio: 1,47) # 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? (valor promedio: 1.52) # 6.1.3. ¿Existe un programa estándar de análisis de indicadores implementado de forma eficiente? (valor promedio: 1,71)
Preguntas mejor evaluadas:	# 8.1.1. ¿Existe un modelo eficiente de gestión de la calidad dentro del área de mantenimiento? (valor promedio: 2.39) # 5.1.1. ¿Existe un sistema eficiente de soporte informático para el mantenimiento? (valor promedio: 2.37)
Resultados por área	1.Gestión de Activos, Objetivos del Negocios (KPIS) y organización de soporte (valor obtenido: 2,16) Preguntas peor evaluadas: # 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? (valor: 1,86) # 1.5.5. ¿El proceso de análisis y control de los KPIS financieros, está integrado con el análisis de los indicadores técnicos y económicos de las áreas de mantenimiento y confiabilidad?? (valor: 1,82) Pregunta mejor evaluada: # 1.4.1. ¿Existe de forma general una estructura organizacional bien definida? (valor: 2.21) 2.Modelos de Jerarquización basados en Riesgo (criticidad de equipos) (valor obtenido: 2,23) Pregunta peor evaluada: # 2.2.3. ¿La información utilizada para estimar la frecuencia de las fallas es tomada de una fuente confiable y veraz? (valor: 1,98) Pregunta mejor evaluada: # 2.3.2. ¿Se ha comunicado al personal sobre las potenciales consecuencias sobre los eventos que pueden afectar seguridad, la salud y el ambiente? (valor: 2.25) 3. Análisis de problemas (manejo de fallas) (valor obtenido: 1,96)

Pregunta peor evaluada:

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? (valor: 1,52)

Pregunta mejor evaluada:

3.2.3. ¿Existe un proceso eficiente de comunicación entre la gerencia de la organización y el resto de los niveles administrativos? (valor: 2,12)

4. Procesos de programación y planificación (valor obtenido: 1,87)

Pregunta peor evaluada:

4.1.5. ¿Las estrategias de planificación y programación del mantenimiento se analizan y se auditan los resultados de aplicación de estas estrategias? (valor: 1,76)

Pregunta mejor evaluada:

4.4.2. ¿La organización cuenta con un grupo de soporte encargado de administrar y facilitar las herramientas de Confiabilidad y Mantenimiento? (valor: 2,16)

5. Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico (valor obtenido: 2,19)

Pregunta peor evaluada:

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? (valor: 1,81)

Pregunta mejor evaluada:

5.1.1. ¿Existe un sistema eficiente de soporte informático para el mantenimiento? (valor promedio: 2,37)

6. Procesos de control y análisis de indicadores técnicos RAM (valor obtenido: 1,89)

Preguntas peor evaluadas:

6.1.2. ¿Se realizan de forma eficiente análisis de mejora sobre la información histórica de fallas y operación de los equipos? (valor promedio: 1,47)

6.1.3. ¿Existe un programa estándar de análisis de indicadores implementado de forma eficiente? (valor: 1,71)

Pregunta mejor evaluada:

6.3.2. ¿Se relacionan los procesos operacionales con todas las actividades de producción? (valor: 2,12)

7. Proceso de análisis de costos de ciclo de vida (valor obtenido: 1,78)

Pregunta peor evaluada:

7.1.3. ¿Existe un proceso de evaluación del impacto económico de la Confiabilidad en el ciclo de vida de los activos (Modelos Woodward, Willians and Scott, etc.)? (valor: 1,39)

Pregunta mejor evaluada:

7.3.1. ¿Las detenciones mayores son implementadas en forma ordenada bajo un modelo de gestión de grandes paradas de plantas? (valor: 2,01)

8. Procesos de revisión y mejora continua (valor obtenido: 2,18)

Pregunta peor evaluada:

8.2.4. ¿El proceso de Mejora continua es una práctica común en las áreas mantenimiento y confiabilidad? (valor: 1,74)

Pregunta mejor evaluada:

8.1.1. ¿Existe un modelo eficiente de gestión de la calidad dentro del área de mantenimiento? (valor promedio: 2,39)

4. Análisis de las Oportunidades Encontradas por la Aplicación de la Metodología AMORMS

4.1. Aspectos Claves en Relación a la Estructura Organizacional

A continuación, se describen algunos de los principales aspectos claves identificadas, en relación a la estructura organizacional de las áreas de Confiabilidad y Mantenimiento, en la Planta SINEA PERÚ.

La organización cuenta con un buen nivel de “Know How” con respecto al negocio de manufactura de productos PET. Adicionalmente, se ha seleccionado un personal motivado, que cuenta con un muy buen conocimiento técnico (altamente especializado) en los procesos de operación y mantenimiento de Plantas de Envases de Plástico.

La estructura organizacional, partiendo de la línea superior (Gerencia Corporativa de Mantenimiento) junto con sus grupos de soporte en las diversas plantas, está diseñada para facilitar la aplicación práctica de las diferentes herramientas de optimización de ingeniería de confiabilidad, mantenimiento y riesgo (TPM, 5S, RCA, RCM, LEAN, SIX SIGMA, RAM, etc.). Es importante, ajustar (el número de personas necesarias) y definir de forma más precisa las responsabilidades en la organización actual (asociadas a procesos de mantenimiento y confiabilidad), de tal forma de garantizar la eficacia de los procesos de mantenimiento (definir de forma correcta lo que se debe hacer para garantizar la función de los equipos en la planta) y en segundo lugar, garantizar la eficiencia (definir los recursos humanos y económicos que garanticen los costos óptimos del mantenimiento). Se destaca también, la visión que tiene la organización para identificar, seleccionar y sacarle provecho a las tecnologías de última generación, enfoque que aporta al mejoramiento continuo de todos procesos relacionados con las áreas de mantenimiento y confiabilidad.

A continuación, se presenta algunas recomendaciones que ayudarán a consolidar el grupo de soporte de Ingeniería de Confiabilidad dentro de la Planta SINEA PERÚ– SMI, de tal forma que sea capaz de promover y ejecutar las principales actividades de mejora asociadas a las 8 fases del modelo tomado como referencia para la auditoría AMORMS.

4.1.1. Recomendaciones para consolidar el grupo de soporte de ingeniería de confiabilidad alineado al MGM

- **Área evaluada: 1. Gestión de Activos, Objetivos y Estructura Organizacional.**
- **Calificación obtenida: 2,16 = Promedio / Nivel máximo = 5**

Con el objetivo de poder disminuir las brechas identificadas por la técnica AMORMS en la etapa 1 y para lograr cubrir las diferentes actividades a ser desarrolladas dentro de cada uno de las 8 fases del MGM, se recomienda a la organización SMI/SINEA/PERÚ, consolidar el grupo de soporte de Ingeniería de Confiabilidad dentro de la Planta SINEA PERÚ– SMI, de tal forma que sea capaz de promover y ejecutar las principales actividades de mejora asociadas a las diferentes etapas del modelo presentado en la Figura 1 (MGM). Dentro de los roles recomendados a ser desarrollados por este grupo, el mismo deberá administrar el uso del sistema informático (SAP PM) y analizar la información generada por dicho sistema para generar planes de acción, a partir del uso eficaz y eficiente de herramientas de optimización de Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad.

Para el tamaño de la Planta SINEA PERÚ, se recomienda incluir al menos de 1 a 2 Ingenieros de Confiabilidad, a dedicación exclusiva, para dar soporte al proceso de implantación y consolidación del MGM.

Las normas de referencia tomadas en cuenta para el desarrollo de las recomendaciones que ayuden a consolidar los grupos técnicos de Ingeniería de Confiabilidad son: i) UNE-EN 60300-1:2015. Gestión de la Confiabilidad. Directrices para su gestión y aplicación; ii) EN 15628:2014. Maintenance - Qualification of Maintenance Personnel (German Version); iii) EN 16646:2014. Maintenance within physical asset management; iv) EN 17007-2017-MAN.1. Maintenance process and associated indicators (establish the maintenance and reliability policy, strategy and development actions).

4.2. Aspectos Claves en Relación al Software de Soporte de Mantenimiento SAP PM

A continuación, se describen algunos factores a considerar, en relación al análisis realizado sobre el sistema de soporte informático: SAP PM, en la Planta SINEA PERÚ:

- El software SAP PM, en la Planta SINEA PERÚ, debe ayudar a consolidar el proceso mantenimiento preventivo y evitar las consecuencias de los fallos sobre la seguridad, el ambiente y las operaciones (costos o pérdidas por producción). Actualmente el SAP PM, genera actividades que alimentan los procesos básicos de planificación y programación del mantenimiento preventivo y que a futuro deberían ser la base de la optimización de los presupuestos anuales de mantenimiento.
- En la estructura actual del SAP PM, el mantenimiento preventivo hace referencia a un proceso relacionado con actividades específicas de mantenimiento asignadas a equipos de la planta. Para realizarlo, se establecen algunos de planes genéricos de mantenimiento. Hay espacio para mejorar la definición de las hojas de ruta de las actividades más importantes de mantenimiento.
- Las actividades de mantenimiento preventivo ejecutadas y registradas en el SAP PM, generan una base de datos de costes y elementos necesarios para definir las futuras actividades de mantenimiento (ayuda a estimar los presupuestos anuales). Las tareas identificadas en el SAP PM se pueden aprovechar y analizar previamente con el área de operaciones para no afectar el rendimiento de los procesos de producción.
- Las mejoras en el módulo SAP PM, ayudarán a generar de forma eficiente los avisos que se planifican y programan para su ejecución en el corto plazo. Las órdenes de mantenimiento correctivo o de reparación de averías, se pueden aprovechar para los futuros análisis de falla, mejorando la recolección de los datos claves del evento imprevisto (síntomas, modos de fallas y posibles causas).

En resumen, actualmente en la Planta SINEA PERÚ, el sistema SAP PM, tiene un potencial para ser mejorado y poder desarrollar órdenes de mantenimiento para los diferentes mantenimientos (preventivos y correctivos), que faciliten la asignación de recursos y la aplicación adecuada de las tareas de mantenimiento que necesitan ser planificadas, programadas y ejecutadas.

4.2.1. Recomendaciones generales para mejorar el uso del software SAP PM

- **Área evaluada: 2. Modelos de Jerarquización y proceso de Análisis de Criticidad.**
- **Calificación obtenida: 2,23 = Promedio / Nivel máximo = 5**
- **Área evaluada: 6. Proceso de control y análisis de indicadores técnicos y económicos**
- **Calificación obtenida: 1,89 = Debajo del promedio / Nivel Máximo = 5**

Las normas de referencia tomadas en cuenta el desarrollo de las recomendaciones que ayuden a consolidar el software SAP PM son: i) UNE-EN-ISO 14224:2016. Industrias del petróleo, petroquímicas y del gas natural. Recolección e intercambio de datos de mantenimiento y confiabilidad de los equipos; ii) UNE-EN 60300-1:2015. Gestión de la Confiabilidad. Directrices para su gestión y aplicación; iii) EN 17007-2017-MAN.1. Maintenance process and associated indicators (establish the maintenance and reliability policy, strategy and development actions)

A continuación, se resumen las recomendaciones con mayor oportunidad de mejora, con respecto al uso del sistema informático SAP PM (fases 2, 4, 5 y 6 del MGM).

- Mejorar los formatos de recolección de datos en la orden de trabajo en el SAP PM (descripción del problema, síntomas, modos de fallas (asociados a ítem mantenibles)).
- Mejorar en el proceso de captura de datos y análisis de la información generada por el software SAP PM, este proceso presenta una oportunidad de mejora muy grande, adicionalmente, el uso de esta herramienta de gestión, está muy limitada sólo a un grupo mínimo de personas del área de mantenimiento, falta transmitir de forma más eficiente la información del impacto del proceso de planificación y programación a las áreas operacionales, adicionalmente, falta difundir mucho más el uso del SAP PM y mejorar la interpretación y el proceso de toma de decisiones a partir del análisis de la

información (técnica y económica) que se puede generar dentro del proceso de mantenimiento (no se ha consolidado el uso de versión de SAP PM instalada).

- Desarrollar y generar de forma automática dentro del SAP PM en los diferentes niveles jerárquicos (Planta, Proceso, Sistema, Equipos y llegar al ítem mantenible, según el enfoque de la ISO 14224), los indicadores técnicos de gestión (TPO: tiempo promedio operativa hasta el fallo, TPFS: tiempo promedio fuera de servicio, TPPR: tiempo promedio para reparar, FF: frecuencia de fallas y Costos por indisponibilidad: CIF). En el mediano plazo se puede relacionar el indicador propuesto (CIF), con otros indicadores como: Back log, % actividades de mantenimiento ejecutadas contra las planificadas, Preventivo vs. Correctivo.
- Promover dentro del SAP PM, un modelo estándar de evaluación de criticidad de los modos de fallas asociados a el ítem mantenible, basado en el indicador de “CIF: Costos de indisponibilidad por fallas” (frecuencia de fallas (fallas/año) x consecuencias (\$/fallas) = \$/año). Este modelo debe ser aceptado por toda la organización y además debe ser el criterio que permita priorizar los procesos de: planificación, ejecución de las actividades de mantenimiento y definición de los repuestos críticos (desarrollos internos dentro del SAP PM, podrían ayudar a mejorar esta parte del proceso de gestión del mantenimiento).
- Corregir el cálculo del indicador Confiabilidad, el indicador que se calcula actualmente, es un cálculo de Disponibilidad asociado a fallas. El cálculo correcto de Confiabilidad (Rt, probabilidad de funcionamiento), se debe realizar con técnicas estadísticas, por ejemplo, con la Distribución Weibull (técnica estadística analizada en el curso de certificación ICOGAM desarrollado en el mes de Octubre 2022).
- Promover un mayor el interés por el uso del SAP PM a nivel de las diferentes jefaturas de mantenimiento (mayor compromiso con el uso del SAP PM) y tomar decisiones a partir del uso de los indicadores técnicos y económicos generados a partir del SAP PM (mostrar el valor agregado del uso de la herramienta SAP PM).
- Promover un cambio cultural en los usuarios del SAP PM, en relación al proceso de gestión de los datos técnicos y económicos a ser ingresados en el SAP PM (garantizar un buen nivel de calidad y veracidad de los datos).
- Utilizar el SAP PM para promover mejoras en los procesos de planificación y programación de las estrategias de mantenimiento, utilizar el indicador propuesto CIF, a el nivel del ítem mantenible, para impulsar el proceso de optimización del mantenimiento preventivo PM y mejorar los presupuestos anuales de mantenimiento.
- Revisar a ajustar para los equipos críticos, los procedimientos detallados de ejecución de mantenimientos preventivos (revisar el paso a paso de los planes de mantenimiento e inspección de los modos de fallas críticos).
- Revisar el proceso de priorización de las órdenes de trabajo dentro del SAP PM (se recomienda utilizar el indicador CIF: Costos de indisponibilidad por fallas, para ajustar la priorización de las órdenes de trabajo de las actividades preventivas y correctivas).
- Propiciar el escenario para que se generen las órdenes de trabajo dentro de SAP PM, por las personas que están más cerca de los equipos (parametrizar el SAP PM para que su uso sea sencillo y de fácil de utilización).
- Diseñar formatos estándares o mejorar los formatos existentes dentro del SAP PM), de tal forma que permitan registrar la siguiente información: modos de fallas (catálogo de fallas asociados a ítem mantenibles, obtenidos a partir de las aplicaciones de RCM), tiempos promedios operativos, tiempos promedios fueras de servicio, impacto económico (costos directos de las fallas más el costo de penalización).
- Diseñar un procedimiento dentro de SAP PM, que permita integrar los criterios entre logística y mantenimiento con el objetivo de poder establecer máximos y mínimos óptimos de repuestos basados en el factor Riesgo.

- Difundir la información generada por el SAP PM; y no limitarla sólo al personal de mantenimiento (aprovechar e introducir al personal de operaciones para comenzar a corregir el proceso de definición de modos de fallas, sobre todo comenzar a exigir la creación de la base de datos de los modos de fallas).
- Desarrollar un procedimiento dentro del SAP PM que permita jerarquizar de forma automática tanto los equipos como las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, en función del impacto que podrían provocar los modos de fallas dentro del contexto operacional.
- Desarrollar un programa de adiestramiento básico de indicadores técnicos de Confiabilidad y Mantenimiento, integrado con el proceso de formación en el uso de la herramienta SAP PM, en el cual se involucre al personal de campo tanto a operadores como mantenedores, no limitar el conocimiento y uso de los indicadores a ser generados por el SAP PM, sólo al grupo de personas que conforman el área de Mantenimiento, es necesario involucrar al personal de operaciones.
- Promover en el mediano y largo plazo, el desarrollo dentro del SAP PM de las herramientas de Análisis Causa Raíz (RCA) y Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), como módulos integrados dentro del SAP PM, que alimenten directamente los procesos de planificación, programación y el desarrollo de los presupuestos anuales del mantenimiento.

En esta etapa se recomienda que SMI desarrolle y consolide el indicador CIF (Costos por indisponibilidad por fallas) a nivel el ítem mantenible (tomando como referencia la estructura de la ISO 14224).

4.3. Aspectos Claves en Relación al Proceso de Análisis de Criticidad

A continuación, se describen algunos de los aspectos claves a mejorar, en relación al proceso de análisis de criticidad desarrollado e implementado actualmente en la Planta SINEA PERÚ:

- El proceso de análisis de criticidad de activos físicos a ser desarrollado por la organización SMI/SINEA/PERÚ, debe sustentarse en un modelo de Riesgo, basado en una Matriz Semi-Cuantitativa. Este tipo de herramientas, permitirán establecer de forma eficiente las jerarquías o prioridades en las instalaciones de la Planta SINEA PERÚ a nivel de sistemas y equipos y dispositivos. El modelo de criticidad a desarrollar basado en Riesgo, debe incluir factores claves del negocio de manufactura de productos PET (Seguridad, Ambiente, Producción, Inocuidad y Calidad) [14].

4.3.1. Recomendaciones para consolidar proceso de priorización (CA: Criticality Analysis)

- **Área evaluada: 2. Modelos de Jerarquización y proceso de Análisis de Criticidad.**
- **Calificación obtenida: 2,23 = Promedio / Nivel Máximo = 5**

Las normas de referencia tomadas en cuenta para el desarrollo de las recomendaciones que ayuden a consolidar el proceso de priorización: CA son: i) ISO 31000 (Risk-Management-Principles-and-Guidelines); ii) NORZOK Z-008:2017 (Risk based maintenance and consequence classification); iii) UNE-EN-ISO 14224:2016. Industrias del petróleo, petroquímicas y del gas natural. Recolección e intercambio de datos de mantenimiento y confiabilidad de los equipos.

El proceso de Priorización (CA: Criticality Analysis), es una etapa que ofrece una línea base, sobre la cual establecer decisiones a la hora de clasificar los activos productivos de acuerdo con la importancia de su función para la consecución de los objetivos del negocio. La técnica de jerarquización propuesta (desarrollada en las aplicaciones pilotos), se sustenta en el *Análisis de Criticidad basado en Riesgo* y permite identificar por su importancia, los activos de una instalación sobre los cuales vale la pena dirigir el mayor de los esfuerzos (humanos, económicos y tecnológicos); en otras palabras, el proceso de análisis de criticidad, ayuda a determinar la importancia y las consecuencias de los eventos de fallos de los sistemas de producción dentro del contexto operacional en el cual se desempeñan. A continuación, para consolidar el modelo de criticidad a ser desarrollado en SINEA PERÚ, se presentan algunas recomendaciones para consolidar la fase 2 del MGM (proceso de análisis de criticidad basado en Riesgo):

- Actualizar y confirmar los factores claves que integran actualmente el proceso de análisis de criticidad (procesos de criticidad desarrollados en las aplicaciones pilotos de RCA y RCM), es importante que los factores incluidos en la Matriz de Riesgo, ayuden a los niveles gerenciales y técnicos a tomar decisiones más eficientes, direccionando de forma correcta tanto los recursos económicos y humanos en los procesos relacionados con la operación y el mantenimiento de los activos industriales en la Planta SINEA PERÚ.
- Revisar y ajustar el modelo de Matriz de Riesgo de Activos Físicos, de forma que permita evaluar con una mirada sistémica e integral los parámetros: Confiabilidad, Mantenibilidad, Costos por indisponibilidad, Calidad, Inocuidad, Salud, Medioambiente, Seguridad, Vulnerabilidad y Reputación, alineados con los objetivos de un proceso integral de Gestión de Activos.
- Entender que el método semicuantitativo de priorización por Riesgo, genera un alto nivel de incertidumbre, por lo cual hay que tener mucho cuidado con los criterios a evaluar y con las decisiones a ser tomadas a partir de los resultados de criticidad a obtener con esta metodología (es recomendable que al menos una vez al año, se revisen y actualicen los criterios que estén incluidos en la matriz de criticidad basada en Riesgo).
- Consolidar la ejecución de las recomendaciones que se obtienen del proceso de análisis de criticidad, promoviendo la implantación real y efectiva de las acciones a ser propuestas a partir de la aplicación de los métodos de Confiabilidad y Riesgo: RCA (Root Cause Analysis), RCM (Reliability Centered Maintenance), etc., comparar al menos una vez al año, como se mueven los niveles de criticidad de los equipos dentro de la matriz de Riesgo, una vez que se hayan ejecutado los planes de acción recomendados (relacionar el nivel de importancia de los sistemas obtenido a partir de la matriz de criticidad con el indicador CIF, propuesto en la sesión anterior, comparar el CIF antes y después de las recomendaciones ejecutadas).
- Asegurar la veracidad de la información disponible en el proceso de definición de los factores de las frecuencias y consecuencias de fallas (aspecto clave, contar con personas “expertas” en los factores a evaluar en la matriz de Riesgo), a tal punto, que, si no se cuenta con personal “experto”, pueden omitirse factores de riesgo de alto impacto, generando resultados de criticidad erróneos o incompletos, que generen soluciones ineficientes y de poco valor agregado.

Finalmente, los resultados obtenidos de la aplicación efectiva de la metodología de Criticidad Basada en Riesgo (matriz de criticidad), ayudará a los gerentes de las diferentes áreas, a tomar decisiones más eficientes y con un menor grado de incertidumbre, en las actividades relacionadas con la asignación y distribución de recursos humanos, técnicos y económicos dentro de los procesos de Mantenimiento y Operación, ayudando de esta forma, a maximizar la rentabilidad en la Planta SINEA PERÚ.

4.4. Aspectos Claves en Relación al Proceso de Análisis de Fallas

A continuación, se describen algunos de los principales aspectos a considerar, en relación al proceso de análisis de fallas (Método de Análisis Causa Raíz (RCA)), a ser desarrollado en la Planta SINEA PERÚ:

La organización SMI debe consolidar de forma efectiva la implementación de la técnica de Análisis Causa Raíz (RCA) desarrollada en las aplicaciones pilotos (RCA.V1.RISK). Su implementación, debe ser un proceso intuitivo y ordenado, que permita identificar, la causa originaria de los fallos, tomando en cuenta básicamente dos aspectos, la evaluación de los hechos reales que generan la pérdida de la función (indisponibilidad); y el impacto que pueden provocar estos eventos sobre: el ambiente, la seguridad humana y las operaciones. La metodología de RCA a implementar debe ayudar a los ingenieros de confiabilidad a orientarse, en los pasos a seguir para definir: las causas de los eventos de fallas y las consideraciones que deben tomarse para la obtención de soluciones efectivas. En resumen, la aplicación del Método RCA propuesta, ayudará a la organización SMI a:

- Analizar de forma fácil todas las perspectivas que pueden provocar los eventos de fallas críticos.
- Eliminar la frustración y las discusiones ineficientes de los procesos de RCA.
- Crear una realidad común de los problemas analizados.

- Asegurar la aceptación por parte de todos los interesados de las soluciones propuestas.
- Incorporar en el día a día de los procesos operacionales y de mantenimiento, una aplicación común de RCA, fácil de usar, que permite determinar las causas, los efectos de las fallas y los planes de acción, basados en evidencias reales.

4.4.1. Recomendaciones para consolidar el proceso de análisis de fallas (RCA: Root Cause Analysis)

- **Área evaluada: 3. Análisis de problemas manejo de fallas.**
- **Calificación obtenida: 1,96 = Por debajo del Promedio / Nivel Máximo = 5**

Las normas de referencia tomadas en cuenta para el desarrollo de las recomendaciones que ayuden a consolidar el proceso de análisis de fallas (RCA) son: i) UNE EN 62740:2015 (RCA: Root Cause Analysis); ii) ISO 31000 (Risk-Management-Principles-and-Guidelines).

El proceso de Análisis de Fallas (RCA: Root Cause Analysis), constituye la fase 3 del MGM. Esta etapa permite de forma sistemática, identificar las causas raíz primarias de los problemas, para luego aplicar correctivos que pretenda eliminarlas de forma definitiva. Como parte de la definición de las estrategias de mejora continua, es necesario analizar los posibles modos de fallos repetitivos, crónicos, cuya frecuencia de aparición pueda incluso ser excesiva. Si somos capaces de encontrar, e incluso eliminar, las causas de los fallos podemos ofrecer un alto retorno inicial a la inversión en nuestro programa de gestión de mantenimiento; por lo tanto, el objetivo principal de la aplicación de la técnica de RCA es minimizar el impacto de los fallos y maximizar la confiabilidad operacional de los activos. A partir de las brechas identificadas en la auditoría AMORMS, a continuación, se presentan algunas recomendaciones para consolidar la fase 3 del MGM (proceso de análisis de fallas) en la Planta SINEA PERU:

- Cuantificar de forma detallada, las mejoras obtenidas a partir de la ejecución de las recomendaciones generadas por el proceso de RCA. Se propone que se calculen y analicen (antes y después de la aplicación de RCA), los índices técnicos tales como: tiempos promedios operativos, tiempos promedios fuera de servicio y la frecuencia de fallos.
- Introducir el indicador CIF (costos de indisponibilidad por fallos), calcular este indicador antes de la aplicación del RCA y compararlo con el obtenido después que se apliquen las recomendaciones generadas a partir de los RCA, de tal forma de medir los valores reales de ahorros o pérdidas obtenidos.
- Diseñar formatos estándares de RCA para toda la organización (caso ideal incluir este formato dentro del software SAP PM). Los formatos a desarrollar deben registrar la siguiente información: modos de fallos y sus causas raíz (más importantes), tiempos promedios operativos, tiempos promedios fuera de servicio, impacto económico (indicador CIF). Utilizar como base del diseño de los formatos, el utilizado en las aplicaciones de RCA ejecutadas.
- Aprovechar las experiencias y los resultados obtenidos de los RCA (en las aplicaciones pilotos), con el fin de crear una base de datos de conocimientos compartida (el caso ideal es que esta base de datos quede dentro del SAP PM, a futuro se pueden digitalizar todos los RCA e integrar herramientas de la Industria 4.0 por ejemplo, aplicación de Gemelos digitales en los procesos de análisis de fallas).
- Propiciar el intercambio de información y el análisis de los casos de RCA resueltos, entre el personal de las distintas áreas de mantenimiento y operaciones (aprovechar el análisis de los RCA anteriores). Generar las lecciones aprendidas: “no es necesario cometer los errores dos veces”.
- Difundir la información generada por los resultados de los RCA; y no limitarla sólo al personal de mantenimiento (aprovechar la información recopilada para la creación de la base de datos de los modos de fallos).
- Desarrollar un programa de adiestramiento básico de Análisis de Fallas, en el cual se involucre a todo el personal de operaciones y mantenimiento, no limitar el conocimiento de la técnica de RCA sólo al grupo de mantenimiento, es necesario involucrar al personal de operaciones, producción, proyectos y logística (compras).
- Asignar responsables para la ejecución de las recomendaciones propuestas (definir fechas de ejecución para cada una de las recomendaciones desarrolladas y establecer un plan de trabajo para implantar las

recomendaciones en un período inferior a 6 meses). Al inicio, se propone calcular un indicador que permita medir el porcentaje de RCA finalizados a nivel metodológico, es decir, sin implantar las recomendaciones generadas a partir del RCA. Para el cálculo de este indicador, se toma en cuenta la última reunión, en la cual el grupo de trabajo define las acciones propuestas (recomendaciones) que ayudarán a eliminar o minimizar las causas raíces del evento de falla analizado durante el proceso de aplicación del RCA (el nivel de éxito de este indicador no debe ser menor a un 75%, por ejemplo de un total de 20 RCA, propuestos e iniciados, como mínimo, se deben finalizar 15 de los 20 RCA (serían 15 RCA finalizados metodológicamente, es decir sin haber aún implantado las recomendaciones propuestas). Posteriormente, después de haber finalizado los RCA, se debe hacer seguimiento al proceso de implantación y ejecución de las recomendaciones generadas a partir de los RCA, para esto, se recomienda calcular un segundo indicador, específicamente el CIF, indicador que permitirá, evaluar el nivel de efectividad económica de las recomendaciones ejecutadas (el nivel de ahorros a obtener una vez implementadas las recomendaciones del RCA, no debería ser menor a un 35%).

Finalmente, la implementación de un proceso efectivo de RCA debe garantizar que se cubran las siguientes 5 etapas del proceso de mejora continua: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. El éxito de la implementación, depende del esfuerzo del equipo multidisciplinario de trabajo y como tal requiere de cierta experiencia para vencer los paradigmas que tradicionalmente se encuentran en los procesos de análisis de fallos.

4.5. Aspectos Claves en Relación al Proceso de Optimización de Planes de Mantenimiento e Inspección (RCM)

A continuación, se describen algunos de los principales aspectos identificados, en relación al proceso de planificación, programación y optimización de planes de mantenimiento e inspección (Métodos RCM: Reliability Centered Maintenance), en la Planta SINEA PERÚ:

- La organización SMI debe considerar el aplicar de forma efectiva el método RCM (desarrollado en las aplicaciones pilotos). Esta metodología sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento e inspección con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes dentro del proceso de producción.
- Los procedimientos a desarrollar en SMI para aplicar la herramienta RCM, ayudará a definir los programas de mantenimiento e inspección que alimentan los procesos de planificación y programación de los módulos SAP PM, ajustando las estrategias de mantenimiento e inspección a las necesidades reales de los activos de la Planta SINEA PERÚ.
- Para el desarrollo de los planes de mantenimiento e inspección, se toma como base el nivel de riesgo (frecuencia x consecuencias: seguridad/ambiente/operaciones), que generan los modos de fallos y los procesos de deterioro de los activos de la Planta SINEA PERÚ. Dentro del procedimiento de RCM, se propone calcular el REMF (Riesgo Económico del Modo de Falla) en el análisis de los modos y efectos de falla (FMECA).

En resumen, la aplicación del método RCM, ayudará a la organización SMI a:

- Crear un espíritu altamente crítico en todo el personal (operaciones-mantenimiento) frente a los efectos y consecuencias que pueden generar los diversos fallos en la planta.
- Ajustar las tareas de mantenimiento e inspección a las necesidades reales del contexto operacional, relacionando los modos de fallos y los procesos de deterioro con los efectos que provocan los mismos a la seguridad, al ambiente y a las operaciones.
- Optimizar la aplicación de las actividades de mantenimiento e inspección tomando en cuenta el nivel de riesgo de los activos dentro del contexto operacional, alimentando de forma efectiva los procesos de planificación y programación del mantenimiento (preventivo, condición y correctivo).
- Desarrollar un sistema efectivo de registro y manejo de datos de confiabilidad asociados a los modos de fallos y a los procesos de deterioro.



- Aumentar el conocimiento del personal tanto de operaciones como de mantenimiento con respecto a los procesos operacionales y sus efectos sobre la integridad de las instalaciones.

4.5.1. Recomendaciones para consolidar el proceso de definición y optimización de planes de mantenimiento e inspección (RCM)

- **Área evaluada: 4. Proceso de planificación, programación y optimización de planes de mantenimiento**
- **Calificación obtenida: 1,87 = Por debajo del Promedio / Nivel Máximo = 5**
- **Área evaluada: 5. Proceso de asignación de recursos y soporte logístico**
- **Calificación obtenida: 2,19 = Promedio / Nivel Máximo = 5**

Las normas de referencia tomadas en cuenta para el desarrollo de las recomendaciones que ayuden a consolidar el proceso de optimización de planes de mantenimiento e inspección son: i) RCM SAE 1011-1012 (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad); ii) UNE-EN-ISO 14224:2016. Industrias del petróleo, petroquímicas y del gas natural. Recolección e intercambio de datos de mantenimiento y confiabilidad de los equipos; iii) ISO 31000 (Risk-Management-Principles-and-Guidelines); iv) EN 17007-2017-MAN.1. Maintenance process and associated indicators (establish the maintenance and reliability policy, strategy and development actions).

El proceso de definición y optimización de planes de mantenimiento (RCM: Reliability Centered Maintenance) e inspección se desarrolla entre las fases 4 y 5 del MGM. El diseño del plan óptimo de mantenimiento e inspección para un determinado sistema requiere inicialmente, de la identificación de sus funciones, modos de fallas, procesos de deterioro y efectos de las fallas, además del establecimiento de una serie de tareas efectivas y eficientes de mantenimiento e inspección, basadas en consideraciones que tienen que ver con la seguridad, el ambiente y las operaciones. La metodología RCM, se encarga de optimizar la confiabilidad operacional y minimizar el riesgo de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento e inspección, en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, teniendo en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de fallas de estos activos, a la seguridad al ambiente y a las operaciones. A partir de las brechas identificadas con la herramienta AMORMS, a continuación, se presentan algunas recomendaciones para consolidar las fases 4 y 5 del MGM (proceso de definición y optimización de planes de mantenimiento e inspección) en la Planta SINEA PERÚ:

- Continuar con las aplicaciones de RCM (a partir del método utilizado en las aplicaciones pilotos) en todos los equipos críticos de la Planta y realizar una revisión detallada de los programas de mantenimiento e inspección actuales (utilizar el indicador CIF, para evaluar el factor riesgo económico por cada modo de falla y ajustar los planes de mantenimiento e inspección).
- Codificar los modos de fallas y generar los órdenes de trabajo con los modos de fallas obtenidos a partir de las aplicaciones de RCM (incluir estos modos de fallas como ubicaciones técnicas en el catálogo dentro del SAP PM a nivel de ítem mantenible, Norma ISO 14224).
- Desarrollar para los modos de fallas y procesos de deterioro críticos obtenidos a partir del RCM, un proceso de análisis costo riesgo beneficioso (aplicar las técnicas de optimización de confiabilidad: métodos de Weibull y Log Normal integrados al indicador de optimización CIF – explicados en el taller de certificación ICOGAM, realizado en los meses de Febrero – Mayo del 2023).
- Actualizar la efectividad de los planes de mantenimiento e inspección generados a partir del RCM; y analizar: antes y después, el desempeño de los siguientes indicadores técnicos (MTTF: mean time to failure y MDT: mean down time) y los indicadores de costos (mantenimiento preventivo, correctivo, predictivo y el CIF: costos por indisponibilidad por fallas).
- Ajustar el procedimiento interno de revisión de los planes de mantenimiento e inspección definidos bajo el enfoque de la metodología RCM con el fin de controlar los tiempos promedios operativos, los tiempos de reparación, las frecuencias de fallas y los costos por indisponibilidad fallas (CIF), al menos una vez cada 12 a 18 meses.



- Integrar los resultados del RCM dentro del SAP PM, de tal forma de tener una base de datos común de planes optimizados de mantenimiento e inspección.

4.6. Aspectos claves en relación al proceso de análisis de costos de ciclo de vida (LCCA: Life-Cycle Cost Analysis)

A continuación, se describen algunas de los principales aspectos identificados, en relación al proceso de Análisis de Costos de Ciclo de Vida (LCCA: Life-Cycle Cost Analysis) implementados actualmente en la Planta SINEA PERÚ:

- La organización SMI, debe incluir el análisis del impacto económico de los factores de Confiabilidad y Mantenibilidad, en el área de ingeniería de proyectos, es decir desarrollar un proceso integral de análisis de los costos totales de ciclo de vida desde la fase inicial de desarrollo de un activo. El proceso de Análisis de Costos de Ciclo de Vida, a ser implementado por el área de proyectos de SMI, debe mejorar de forma progresiva, incluyendo el proceso de cuantificación del impacto económico de la confiabilidad y de la mantenibilidad, para lograr disminuir la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones de áreas de vital importancia tales como: diseño, desarrollo, sustitución y adquisición de activos. Es importante mencionar, que, en este proceso, la organización SMI, tiene una gran oportunidad de mejora, particularmente en el área que corresponde a el análisis de los factores “Confiabilidad y Mantenibilidad”; desde la fase de diseño, ya que este aspecto, tiene una gran influencia sobre el coste total del ciclo de vida del activo, e influye en gran medida sobre las posibles expectativas para extender la vida útil de los sistemas de producción a costes razonables.

4.6.1. Recomendaciones para consolidar el proceso de análisis de costos de ciclo de vida (LCCA: Life-Cycle Cost Analysis)

- **Área evaluada: 7. Procesos de Análisis de Costos de Ciclo de Vida.**
- **Calificación obtenida: 1,78 = Debajo del Promedio / Nivel máximo = 5**

Las normas de referencia tomadas en cuenta para el desarrollo de las recomendaciones que ayuden a consolidar el proceso de Análisis de Costos de Ciclo de Vida son: i) ISO 15663:2021 (Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Life cycle costing); ii) ISO 31000 (Risk-Management-Principles-and-Guidelines).

La orientación de este apartado, hacia el estudio y el análisis del factor Confiabilidad y su impacto en los costos, se debe, a que gran parte del incremento de los costes totales durante el Ciclo de Vida útil esperado de un sistema de producción, es ocasionado en su mayoría, por la falta de previsión ante la aparición inesperada de eventos de fallos, escenario provocado básicamente por el desconocimiento y por la ausencia de una evaluación técnica en la fase de diseño de los aspectos relacionados con la confiabilidad (fase 7 del MGM). Esta situación trae como resultado un incremento en los costes de totales de operación (costes que no fueron considerados en un principio) afectando de esta forma la rentabilidad del proceso de producción (ver Figura 3). En el proceso de Análisis de los Costes a lo largo del Ciclo de Vida de un activo, existen muchas decisiones y acciones, que deben ser tomadas, siendo de interés particular para este trabajo, aquellos aspectos relacionados con el proceso de mejoramiento de la confiabilidad (calidad del diseño, tecnología utilizada, complejidad técnica, frecuencia de fallos, costes de mantenimiento preventivo/correctivo, niveles de mantenibilidad y accesibilidad), ya que estos, tienen un gran impacto sobre el coste total del ciclo de vida del activo, e influyen en gran medida sobre las posibles expectativas para extender la vida útil de los activos a costes razonables.

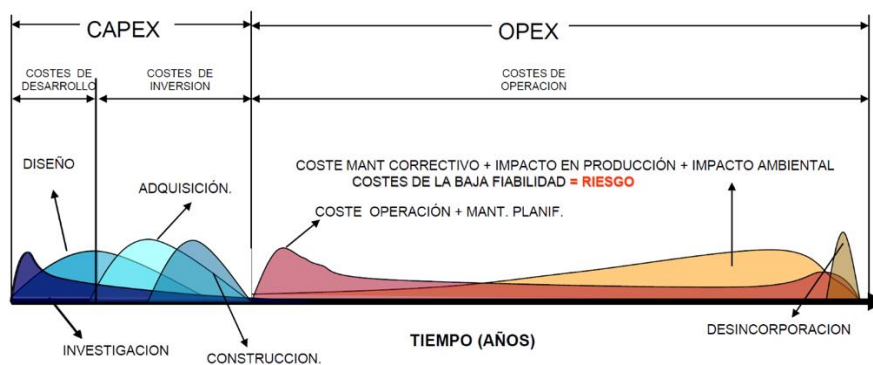
En términos generales, esta etapa del MGM, justamente fue la que presento la mayor brecha en la auditoría AMORMS llevada a cabo en la Planta SINEA PERÚ. A continuación, como punto de partida, se propone la implantación del Modelo de LCCA desarrollado por Woodward [2], el cual permite calcular el impacto de los costes de fallos en el ciclo de vida de un activo industrial.

A continuación, se resumen el procedimiento general de LCCA (Modelo de Woodward [2], explicado en el curso de certificación ICOGAM desarrollado en la Planta SINEA PERÚ, entre Febrero y Abril del 2023):

- Establecer las condiciones operacionales del sistema. Describir los modos de operación del sistema (carga completa, media carga, sin carga) y las capacidades de producción a satisfacer.
- Establecer los factores de utilización. Estos factores deben indicar el estado de funcionamiento dentro de cada modo de operación.
- Identificar las distintas opciones a ser evaluadas. Seleccionar las alternativas existentes que pueden cubrir con las necesidades de producción exigidas.
- Identificar para cada alternativa todas las categorías de costes básicos: inversión inicial, desarrollo, adquisición, mantenimiento planificado, reposición.
- Determinar para cada alternativa los costes totales por Confiabilidad (TCPF). Identificar los principales tipos de fallos y la frecuencia de ocurrencia en el tiempo, la cual será un valor constante a lo largo del ciclo de vida del activo.
- Determinar los costes críticos. Identificar las categorías de costes de mayor impacto, y analizar los factores que propician los altos costes (proponer estrategias de control).
- Calcular todos los costes en valor presente (P) para cada alternativa. Definir el factor de descuento y el período de vida útil esperado y estimar los costes totales en valor presente por cada alternativa evaluada.
- Seleccionar la alternativa ganadora. Comparar los costes totales de las alternativas evaluadas y seleccionar la opción que menor coste genere para el período de vida útil esperado.

En relación a la cuantificación de los costes por Confiabilidad (CTPF), el modelo de Woodward propone evaluar el impacto de los principales fallos sobre la estructura de costes de un sistema de producción, a partir de un proceso sencillo, el cual se resume a continuación: primero, se determinan los tipos de fallos más importantes, luego, se asigna a cada tipo de fallo un valor constante de frecuencia de ocurrencia por año (este valor no cambiara a lo largo de la vida útil esperada), posteriormente, se estima el impacto en costes por año, generado por los fallos en la producción, las operaciones, el ambiente y la seguridad, y finalmente, se estima en valor presente a una tasa de descuento específica, el impacto total en costes de los fallos para los años de vida útil esperada.

Figura 3: Variación de Costos a lo Largo del Ciclo de Vida [2].



4.7. Aspectos Claves en Relación al Proceso de Mejora Continua

A continuación, se describen algunos de los principales aspectos identificados, en relación al proceso de Mejora Continua, implementado actualmente en la Planta SINEA PERÚ:

- La organización SMI, ha realizado esfuerzos en consolidar en los últimos años un proceso de Gestión de Calidad que garantice la mejora continua, promoviendo la cultura a la excelencia de forma constante. El proceso de mejora continua de SMI fomenta la implementación de planes de acción que generan cambios adaptados a las necesidades reales de la planta (ajustados a la medida, más que las innovaciones de gran escala, promoviendo e introduciendo de forma ordenada, el camino hacia el uso de mejores herramientas de producción).



- El proceso de mejora continua involucra a todo el personal de la planta y la dirección de la empresa influye de manera directa en la implementación de las recomendaciones que se generan a partir del uso de las diferentes metodologías de optimización aplicadas en las áreas de mantenimiento, confiabilidad y riesgo: RCA, RCM, LEAN, SIX SIGMA RAMS, etc.). La gerencia lidera con el ejemplo y motiva lo suficiente a todo el personal de la Planta SINEA PERÚ.

4.7.1. Recomendaciones para Consolidar el Proceso de Mejora Continua

- **Área evaluada 8: Procesos de revisión y mejora continua.**
- **Calificación obtenida: 2,18 = Promedio / Nivel máximo = 5**

Las normas de referencia tomadas en cuenta para el desarrollo de las recomendaciones que ayuden a consolidar el proceso de Mejora Continua son: i) EN 16646:2014 (Maintenance within physical asset management); ii) ISO 55001:2014 (Asset Management - Management Systems – Requirements); iii) ISO 31000 (Risk-Management-Principles-and-Guidelines).

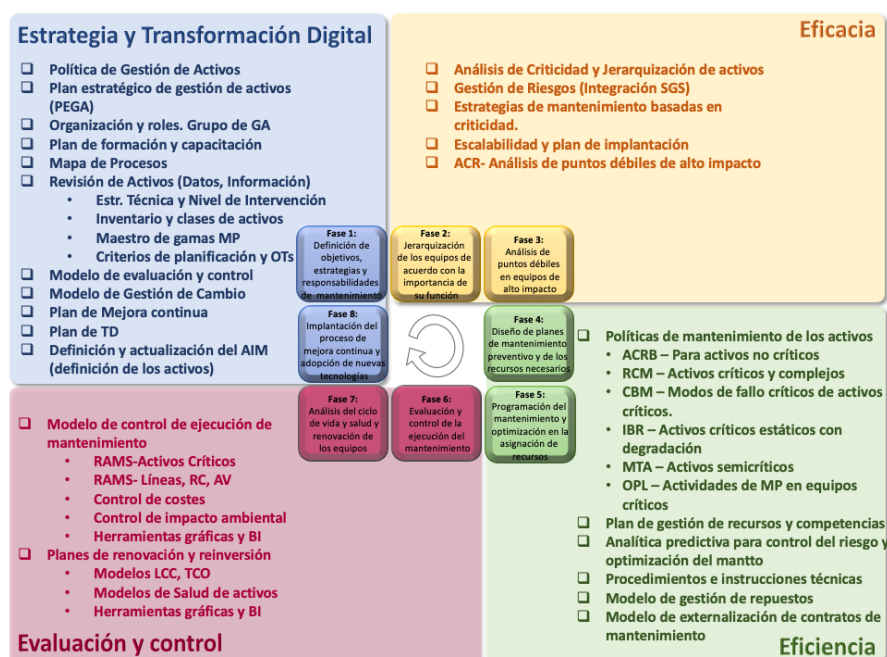
El proceso de mejora continua propuesto en la fase 8 del MGM, será posible utilizando técnicas y tecnologías emergentes en áreas que se consideren de alto impacto como resultados de los estudios realizados en fases anteriores del proceso de gestión. Por lo que respecta a la aplicación de nuevas tecnologías de mantenimiento, los conceptos de “mantenimiento 4.0”, “e-maintenance”, “e-manufacturing”, entre otros, emergen como componentes del concepto de la “industria 4.0”, el cual promueve el beneficio de las nuevas tecnologías de la información y comunicación para crear entornos corporativos y distribuidos multiusuario [17]. “Maintenance 4.0” puede ser definido como un soporte de mantenimiento que incluye recursos, servicios y gestión necesarios para permitir la ejecución de un proceso proactivo de toma de decisiones en mantenimiento, proceso que se puede consolidar, mejorando el uso del SAP PM – integrar toda la información de los procesos de gestión del mantenimiento dentro del SAP PM. Esta parte, permitirá consolidar a futuro, la utilización de las herramientas de la Industrial 4.0 aplicadas al área de mantenimiento. Este proceso permitirá incluir tecnologías de Internet (i.e. ICT, Web-based, wireless, infotronic technologies) y actividades “e-maintenance” (operaciones y procesos) como los de “e-monitoring”, “e-diagnosis”, “e-prognosis”, que pueden ayudar a consolidar la versión del SAP-HANA 4.0 (versión del SAP que integra diversas herramientas de la Industria 4.0).

Además de las nuevas tecnologías para el mantenimiento, la participación de la gente de mantenimiento dentro del proceso de mejora será un factor crítico para el éxito. Desde luego, requerirán los niveles más altos de conocimiento, experiencia y educación (entrenamiento), pero al mismo tiempo, las técnicas simples que permitan la involucración de operadores en la realización de tareas de mantenimiento serán sumamente importantes para alcanzar los niveles más altos de calidad de mantenimiento y la eficacia total del equipo. En el escenario actual, el uso y análisis efectivo de tecnologías emergentes bajo el enfoque de la industria 4.0, puede mejorar de forma exponencial los procesos de gestión industrial. El gran desafío de un modelo integral de Mantenimiento, es proveer un camino que permita optimizar el uso de las herramientas de la industria 4.0 (IOT, ML, NN, DT, etc..) con los objetivos de: mejorar el funcionamiento técnico y ayudar a maximizar la rentabilidad de los activos a lo largo del ciclo de vida útil (ver Figura 6. Conexión práctica del MGM con la transformación digital y Figura 4. Una perspectiva funcional del nuevo marco digital para la Gestión Inteligente de Activos [17].

Es importante promover la mejora continua empoderando a todos los colaboradores de la organización, y otorgándoles herramientas simples de gestión, ya que se precisa consolidar los procesos básicos de operaciones y mantenimiento, que permitan involucrar a el personal de todos los niveles de la organización en la realización de las diferentes actividades relacionadas con la Gestión de Activos. Dentro el proceso de mejora continua se deben analizar las repercusiones de la incorporación de las diversas técnicas y tecnologías de la Industria 4.0 [17, 18]: “e-maintenance”-“e-manufacturing”, nuevas tecnologías de información y comunicación para crear entornos corporativos y distribuidos multiusuario, “internet of the things”, “e-monitoring”, “e-diagnosis”, “e-prognosis”, “Big data”, “Digital twins”, etc., para robustecer el Sistema de Gestión de Activos a desarrollar dentro

de la organización y así alcanzar estándares de Clase Mundial exigidos por los requerimientos de la norma ISO 55001.

Figura 4: Conexión Práctica del MGM con la Transformación Digital [17].



5. Recomendaciones Generales para la Implementación del MGM

A partir de las brechas identificadas en la auditoría AMORMS, a continuación se presentan algunas recomendaciones claves para consolidar la fase 8 del MGM (proceso de mejora continua) en la Planta SINEA PERÚ [18]:

- Ajustar el proceso de medición de la ejecución de las recomendaciones que se obtienen a partir del proceso de análisis de criticidad, promoviendo la implantación efectiva de las acciones propuestas a partir de la aplicación de los métodos de mejora: RCA (Root Cause Analysis) y RCM (Reliability Centered Maintenance). Desarrollar dentro del SAP PM, el indicador “CIF: Costos de indisponibilidad por fallas” (frecuencia de fallas (fallas/año) x consecuencias (\$/fallas) = \$/año), a nivel de equipos y modos de fallas.
- Consolidar el perfil del Ingeniero Integral de Confiabilidad, que este en capacidad de facilitar y desarrollar aplicaciones de las metodologías: CA: Criticality Analysis, RCA: Root Cause Analysis, TPM: Total Productive Maintenance, RCM: Reliability Centered Maintenance, CRBA: Cost Risk Benefit Analysis, LCC: Life Cycle Cost.
- Actualizar y revisar de forma detallada el impacto real de los planes de mantenimiento e inspección de los sistemas críticos. En este momento, los planes de mantenimiento están sustentados en las recomendaciones del fabricante y en función de la experiencia del personal de mantenimiento y operaciones de la organización SMI/SINEA/PERÚ. Es el momento de realizar una actualización de los planes de mantenimiento e inspección (aprovechando el uso de las metodologías RCA y RCM). Considerar inicialmente los modos de fallas críticos y de media criticidad y aplicar las técnicas de optimización costo riesgo beneficio para ajustar las frecuencias de mantenimiento e inspección (el indicador CIF puede ayudar en este proceso).
- Cuantificar el impacto de las acciones de mejora de mantenimiento y confiabilidad en términos de indicadores financieros. Es importante considerar que el proceso de mejora continua abarque planes de acción a lo largo de todas las fases del ciclo de vida de los activos físicos (desde la ingeniería conceptual, diseño, selección, compra, instalación, operación, mantenimiento y desincorporación).



- Consolidar un proceso en el SAP PM que integre los indicadores técnicos con los indicadores de optimización costo riesgo beneficio a nivel del ítem mantenible (propiciando el escenario para analizar el impacto económico que podrían generar las fallas en el mediano y largo plazo dentro del proceso operacional).
- Desarrollar un proceso integral de evaluación de indicadores sistémicos de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad y analizar el impacto económico de estos indicadores, en los costos totales de ciclo de vida de los activos críticos.
- Promover que la Gerencia de Ingeniería de Confiabilidad aplique de forma ordenada el Modelo de Gestión de Mantenimiento y Confiabilidad (MGM), explicado en la Figura 3, orientar los roles y las funciones del personal de Confiabilidad, para cubrir las 8 fases del MGM, teniendo como objetivo final ayudar a maximizar el valor de los activos de SMI/SINEA/PERÚ. Para poder cubrir esta recomendación, “la gerencia de recursos humanos junto a la Gerencia de Integridad de Activos”, deben evaluar la posibilidad de ejecutar un proyecto piloto de implantación del MGM, que cubra las 8 fases del modelo (tiempo estimado de ejecución 2- 3 años).

En resumen, con el fin de garantizar el éxito de los procesos de mejora de las áreas de Confiabilidad y Mantenimiento, integrados a un proceso de Gestión de Activos, es importante que la dirección de la organización: SMI/SINEA/PERÚ, tenga presente las siguientes consideraciones:

- Enmarcar el uso de las diferentes metodologías de optimización de Confiabilidad y Mantenimiento, dentro de un proceso integral de mejora de la Gestión de Activos de toda la organización; y no como una iniciativa aislada del área de mantenimiento.
- El éxito de la implantación de las metodologías de optimización de Confiabilidad y Mantenimiento dependerá fundamentalmente del recurso humano involucrado, motivo por el cual, hay que tener un especial cuidado en el proceso de inducción y en la formación del personal que participará en este proceso. “Activos son diseñados para hacer cosas, las personas hacen que estas cosas sucedan”. Los aspectos técnicos, por sí solos, no son suficientes para poder alcanzar el máximo potencial de las organizaciones. Es necesario fortalecer los aspectos humanos: confiabilidad humana, motivación, entrenamiento, equipos naturales de trabajo, comunicación, etc.
- No se debe limitar el proceso de mejora de la gestión del mantenimiento y de la confiabilidad, a simples modas pasajeras, la organización debe convertir el proceso de implantación de técnicas de confiabilidad y mantenimiento, en prácticas rutinarias de trabajo, que ayuden a optimizar la toma de decisiones durante todo el ciclo de vida útil de los activos industriales.

Finalmente, una de las ventajas principales del MGM, es que provee una estructura alineada a un proceso de Gestión de Activos y un proceso efectivo de seguimiento de todas las recomendaciones propuestas a partir de la implantación de las herramientas de mejora de mantenimiento y confiabilidad, involucrando a todas aquellas personas que tenga que ver con el diseño, la instalación, la operación, el mantenimiento y el retiro de los activos durante todo su ciclo de vida. El MGM, otorga resultados a corto, mediano y largo plazo, con una mayor seguridad sobre las personas, una mayor armonía con el ambiente y con una mejor relación costo-beneficio para el dueño del activo.

Referencias

[1] Crespo Márquez, A. (2007). *The maintenance management framework: Models and methods for complex systems maintenance*. Springer Verlag.

[2] Parra, C., & Crespo, A. (2015). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos. Desarrollo y aplicación práctica de un Modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM)* (2nd ed.). INGEMAN, Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Sevilla, España. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29363.66083>



- [3] Crespo Márquez, A., Moreu de León, P., Gómez Fernández, J., Parra Márquez, C., & López Campos, M. (2009). The maintenance management framework. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 15(2), 167–178. <https://doi.org/10.1108/13552510910961110>
- [4] Campbell, J. D., & Jardine, A. K. S. (2001). *Maintenance excellence*. Marcel Dekker.
- [5] Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1992). The balanced scorecard—Measures that drive performance. *Harvard Business Review*, 70(1), 71–79.
- [6] González-Prida, V., Parra, C., Gómez, J. F., & Crespo, A. (2012). Audit to a specific study scenario according to a reference framework for the improvement of guarantee management. In *Advances in Safety, Reliability and Risk Management* (pp. 1–8). Berenguer, Grall & Guedes Soares (Eds.). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35353.65123>
- [7] López, M., Parra, C., & Crespo, A. (2011). La gestión de activos y la PAS 55. In *XIII Congreso de Confiabilidad* (1st ed., Vol. 1, No. 8). Asociación Española para la Calidad, Zaragoza, España.
- [8] Parra, C., & Crespo, A. (2019). Nota técnica 4: Técnicas de auditoría aplicadas en los procesos de gestión del mantenimiento. INGEMAN, Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Sevilla, España. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10169.60003>
- [9] Parra, C., González-Prida, V., Candón, E., De la Fuente, A., Martínez-Galán, P., & Crespo, A. (2020). Integration of asset management standard ISO 55000 with a maintenance management model. In Crespo Márquez, A., Komljenovic, D., & Amadi-Echendu, J. (Eds.), *14th WCEAM Proceedings. WCEAM 2019* (Lecture Notes in Mechanical Engineering). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64228-0_17
- [10] Reyes-Picknell, J. (2007). An introduction to PAS 55 — Optimal management of physical assets. *Works Management Tutorial*.
- [11] Pintelon, L. M., & Gelders, L. F. (1992). Maintenance management decision making. *European Journal of Operational Research*, 58, 301–317.
- [12] Parra, C., & Crespo, A. (2006). On the consideration of reliability in the Life Cycle Cost Analysis (LCCA): A review of basic models. In Guedes Soares & Zio (Eds.), *Safety and Reliability for Managing Risk* (pp. 2203–2214). Taylor & Francis Group.
- [13] Parra, C., Viveros, P., Kristjanpoller, F., Crespo Márquez, A., & González-Prida, V. (2020). Modelos de auditoría para los procesos de gestión de activos, mantenimiento y confiabilidad: Caso de estudio: Sector de transmisión de electricidad. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32132.14721/1>
- [14] Parra, C., Tino, G., Parra, J., Crespo, A., Viveros, P., Kristjanpoller, F., & González-Prida, V. (2021). Metodología básica de análisis de riesgo para evaluar la criticidad de activos industriales: Caso de estudio: Línea de manufactura de envases biodegradables. INGEMAN, Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Sevilla, España. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10422.52802/2>
- [15] Parra, C., Viveros, P., Kristjanpoller, F., Crespo, A., González-Prida, V., & Gómez, J. (2021). Técnicas de auditorías para los procesos de mantenimiento, fiabilidad operacional y gestión de activos (AMORMS & AMS-ISO 55001). INGEMAN, Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Sevilla, España. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35842.61124/4>
- [16] Parra, C., & Crespo, A. (2020). Nota técnica 1: Introducción a un modelo integral de gestión del mantenimiento (MGM). INGEMAN, Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Sevilla, España. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13046.63049>



[17] Crespo Márquez, A. (2022). Driving the introduction of digital technologies to enhance the maintenance management process and framework. In *Digital Maintenance Management: Guiding Digital Transformation in Maintenance* (Springer Series in Reliability Engineering, pp. 25–30). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-97660-6_3

[18] 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>

Declaração Ética

Conflito de Interesse: Nada a declarar. **Financiamento:** Nada a declarar. **Revisão por Pares:** Dupla-cega.



Todo o conteúdo da **RAE — Revista de Ativos de Engenharia** é licenciado sob [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), a menos que especificado de outra forma e em conteúdo recuperado de outras fontes bibliográficas.