

**Propuesta de un manual de mantenimiento basado en la norma UNE EN 17007
para la gestión de activos en la línea de ensamblaje de bombas centrífugas multietapa de
la empresa Grundfos**

Esteban Bedoya Martínez

Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad del Valle, Cali

Nota del autor

Esteban Bedoya M; Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad del Valle, Cali.

Este documento cuenta con la dirección del Profesor Luis Alberto Mora PhD y Adolfo León Gómez M.Sc.

Trabajo de profundización para optar por el título de Magister en Gestión de Activos y Mantenimiento.

Cualquier mensaje con respecto a este trabajo debe ser enviado a la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle, Cali, Colombia.

E-mail: esteban.bedoya@correounivalle.edu.co

Año de publicación: 2026

Resumen

El mercado de bombas centrífugas en Asia-Pacífico muestra un crecimiento anual del 5.48%, lo cual evidencia la expansión industrial de la región. Grundfos Singapur, sede de la división CBS, enfrenta el desafío estratégico de fortalecer su competitividad bajo el plan de mejora Ignite 27. Actualmente, la línea de ensamblaje de bombas multietapa CR presenta una gestión de mantenimiento con un nivel de madurez Inicial, caracterizado por un enfoque reactivo y la falta de estandarización (Rival & Choudhary, 2024).

Este proyecto desarrolla un manual de mantenimiento alineado con la norma UNE-EN 17007:2018 y sus procesos de realización (PRV, COR, IMP y ACT). A través de un diagnóstico inicial, se identificaron brechas críticas que son abordadas mediante la integración de metodologías de ingeniería de fiabilidad como RCM propuesto por (Moubray, 1997) complementado con el análisis FMEA para la gestión preventiva propuesto por (Stamatis, 2003), y FTA para el diagnóstico de causas raíz en el mantenimiento correctivo propuesto por (Veseley et al., 1981) .

La propuesta establece procedimientos estandarizados, matrices de priorización y una arquitectura de indicadores (KPIs) en tres niveles (estratégico, táctico y operacional). La implementación del manual proyecta una estabilización del OPR por encima del 92%, una reducción del MTTR a menos de 2 horas y un retorno de inversión (ROI) estimado entre 12 y 18 meses, lo cual transforma el mantenimiento de un centro de costos a una función estratégica que asegura la sostenibilidad de la operación (Sullivan et al., 2010).

Palabras clave: Mantenimiento industrial, UNE-EN 17007:2018, RCM, FMEA, Análisis de Árbol de Fallos (FTA), gestión de activos, indicadores de desempeño.

Abstract

The centrifugal pump market in Asia-Pacific shows an annual growth of 5.48%, highlighting the region's industrial expansion. Grundfos Singapore, headquarters of the CBS division, faces the strategic challenge of strengthening its competitiveness under the Ignite 27 improvement plan. Currently, the CR multistage pump assembly line exhibits a maintenance management system at an Initial maturity level, characterized by a reactive approach and a lack of standardization (Rival & Choudhary, 2024).

This project developed a maintenance manual aligned with the UNE-EN 17007:2018 standard and its realization processes (PRV, COR, IMP, and ACT). Through an initial diagnosis, critical gaps were identified and addressed by integrating reliability engineering methodologies: RCM (Reliability-Centered Maintenance) complemented by FMEA analysis (Stamatis model) for preventive management, and FTA (Fault Tree Analysis) for root cause diagnosis in corrective maintenance (Stamatis, 2003).

The proposal establishes standardized procedures, prioritization matrices, and a Key Performance Indicator (KPI) architecture at three levels: strategic, tactical, and operational. The implementation of the manual projects an OPR stabilization above 92%, a reduction of MTTR to less than 2 hours, and an estimated Return on Investment (ROI) of between 12 and 18 months, transforming maintenance from a cost center into a strategic function that ensures operational sustainability (Sullivan et al., 2010).

Keywords: *Industrial maintenance, EN 17007:2018 standard, RCM, FMEA, Fault Tree Analysis (FTA), asset management, performance indicators.*

Contenido

Resumen	2
Abstract	3
Contenido	4
Figuras	5
Tablas	5
Ecuaciones	5
Introducción y Contexto Operacional	7
Planteamiento del problema	11
Límites del problema	12
Justificación	13
Objetivos.....	17
General	18
Específicos	18
Objetivo 1 - Normas.....	18
Objetivo 2 - Estado actual.....	18
Objetivo 3 - Estructura.....	18
Objetivo 4 – Procedimientos.....	19
Objetivo 5 - Manual.....	19
Objetivo 6 - Conclusiones.....	19
Marco teórico.....	20
Antecedentes de la investigación o del proyecto	26
Estado del arte	27
Marco o Elaboración metodológicos	28
Tipo de estudio y de análisis a desarrollar	29
Fases del proyecto.....	30
Desarrollo	33
Objetivo 1 - Normas	33
Objetivo 2 – Estado actual	54
Objetivo 3 – Estructura	64
Objetivo 4 – Procedimientos.....	70
Objetivo 5 – Manual.....	89
Objetivo 6 – Conclusiones.....	95
Descripción de cómo se alcanza el logro de los objetivos	99
Uno – Normas.....	99
Dos – Estado Actual	100
Tres – Estructura	101
Cuatro – Procedimientos	102
Cinco – Manual	103
Seis – Conclusiones.....	104
Referencias	105

Figuras

Figura 1 – Bombas centrífugas multietapa Grundfos.	8
Figura 2 – Gasto real vs presupuesto mantenimiento 2025	9
Figura 3 - Tasa de rendimiento operativo (OPR) 2025	13
Figura 4 - Resultados ventas 2025	14
Figura 5 - Mercado de centros de datos del sudeste asiático	15
Figura 6 - Jerarquía taxonómica de los objetivos	17
Figura 7 - Mapa de Procesos (Nivel 1).....	23
Figura 8 - Fases de la metodología del proyecto	30
Figura 9 - Comparación entre RCM y FMEA para mantenimiento	38
Figura 10 - Hoja de cálculo para elaboración del análisis RCM	40
Figura 11 - Formato FMEA	41
Figura 12 - Símbolos del árbol de falla.....	45
Figura 13 - <i>Tratamiento de una Orden de Trabajo (OT)</i>	49
Figura 14 - Formato Diagnóstico Mantenimiento	56
Figura 15 - Diagnóstico de KPIs	57
Figura 16 - Formato de entrevista mantenimiento.....	58
Figura 17 - Formato para análisis de brechas.....	59
Figura 18 - Resultado nivel de madurez de mantenimiento	61
Figura 19 - Estructura del Manual de Mantenimiento	68
Figura 20 - Estructura de KPIs.....	79

Tablas

Tabla 1 - Asignaturas empleadas en la elaboración del proyecto de grado	20
Tabla 2 - Entradas y salidas en el proceso MAN	34
Tabla 3 - Entradas y salidas para el proceso PRV	36
Tabla 4 - Entradas y salidas del proceso COR.....	42
Tabla 5 - Matriz de priorización de mantenimiento correctivo	43
Tabla 6 - Entradas y salidas del proceso ACT.....	47
Tabla 7 - Entradas y salidas del proceso IMP	51
Tabla 8 - Diagnostico requisitos norma UNE EN 17007 y 16646.....	62
Tabla 9 - Procedimientos del proceso PRV	71
Tabla 10 - Procedimientos del Proceso COR	73
Tabla 11 - Procedimientos del Proceso ACT	75
Tabla 12 - Procedimientos del Proceso IMP.....	77
Tabla 13 - Indicadores estratégicos	80
Tabla 14 - Indicadores tácticos.....	82
Tabla 15 - Benchmarking de disponibilidad por tipo de industria	84
Tabla 16 - Indicadores operacionales	86
Tabla 17 - Enlace de acceso al manual de mantenimiento.....	89
Tabla 18 - Resumen del impacto y proyección financiera.....	92
Tabla 19 - Hoja de ruta implementación.....	93

Ecuaciones

(1) OPR.....	81
(2) Disponibilidad.....	81
(3) Costo Mantenimiento	81

(4) MTBF	83
(5) MTTR.....	83
(6) Confiabilidad	84
(7) Disponibilidad.....	84
(8) Tasa fallos recurrentes.....	85
(9) % cumplimiento PM semanal	86
(10) Efectividad MM.....	87
(11) Tiempo promedio PM	87

Introducción y Contexto Operacional

La gestión eficiente de activos físicos es clave para la competitividad de las organizaciones manufactureras, especialmente en empresas cuya actividad depende del funcionamiento continuo de sus líneas de ensamblaje, donde la confiabilidad operacional es crítica (Ejaz, 2023).

La norma UNE EN 17007:2018 propone que el mantenimiento debe estar constituido por el proceso de gestión, realización y soporte los cuales organizan claramente el mantenimiento: el proceso de gestión (MAN) fija objetivos, estrategia, recursos y supervisión, para asegurar que las actividades estén alineadas; los procesos de realización (PRV, COR, ACT) garantizan que las tareas de prevención, corrección o mejora se ejecuten con eficacia; y los procesos de soporte (por ejemplo, recursos, infraestructura, documentación) aseguran que los demás procesos puedan operar con los medios necesarios (Hansen R. C., 2011).

Grundfos es una empresa de origen danés que nace en 1945. Su especialización abarca el diseño, la fabricación y el suministro de bombas y sistemas de bombeo de alta eficiencia. Estos sistemas atienden diversas aplicaciones para el agua, la industria y edificaciones residenciales o comerciales, junto con la electrónica de control necesaria. La estructura corporativa se organiza en cuatro divisiones principales CBS, DBS, Industry y WU¹ (Grundfos Holding A/S, 2025).

¹ CBS: Commercial Building Services, DBS: Domestic Building Services y WU: Water Utility.

La planta de ensamblaje en Singapur pertenece a la división CBS y opera tres líneas de producción principales: bombas de una etapa, bombas multietapa y sistemas de bombeo. La producción de la línea de bombas multietapa corresponde al 60% anual de esta sede. Esto la convierte en una línea crítica para la gestión del mantenimiento. Su operación requiere una eficiencia superior al 92% para el cumplimiento de las metas de producción.

Figura 1

Bombas centrífugas multietapa Grundfos



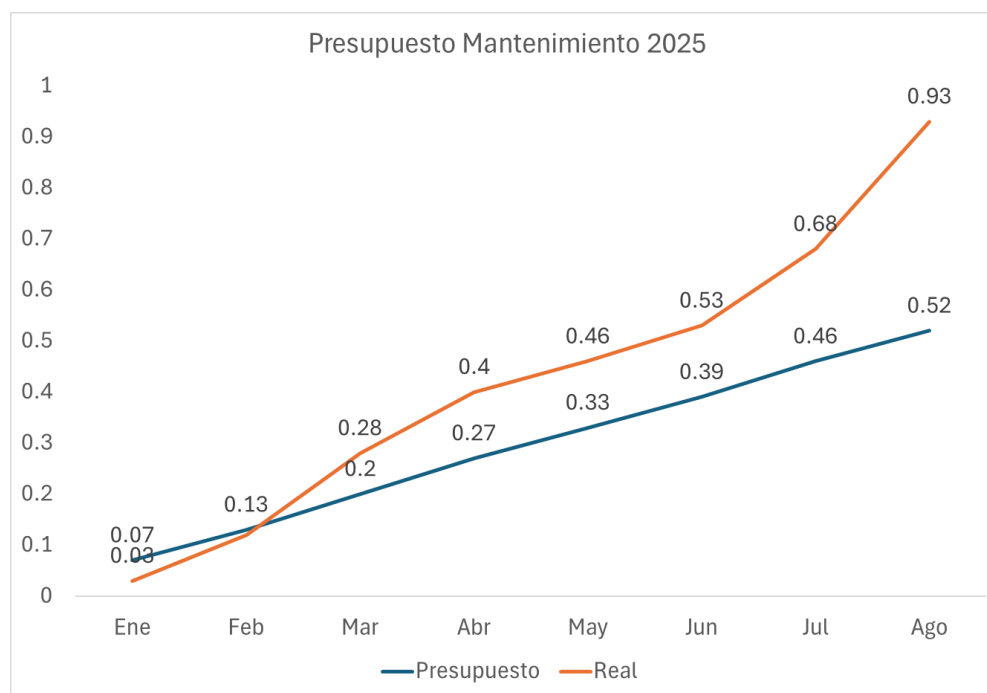
Nota: Bomba CRE 15-3 ensamblada en la línea de producción, la cual representa más del 30% de la producción anual. Tomada de Grundfos Product Center (Grundfos Holding A/S, 2025).

El área de mantenimiento tiene dos personas, un técnico senior de mantenimiento quien se encarga de la ejecución de las actividades en la planta, tanto correctivo como preventivo y el ingeniero de mantenimiento quien es el responsable de la planeación y programación del mantenimiento y otras actividades administrativas propias del cargo.

La planta no posee una capacidad suficiente para la atención proactiva de las necesidades de mantenimiento. Esta situación deriva en un modelo de gestión donde predominan las actividades de carácter correctivo. El mantenimiento preventivo resulta limitado y su cobertura no incluye la totalidad de los activos críticos. Dicha circunstancia genera sobrecostos por averías frecuentes (Figura 2), incumplimientos del presupuesto y una alta dependencia del personal clave. La ausencia de este personal representa un riesgo de parálisis para la gestión del área, debido a la inexistencia de procedimientos documentados para tareas esenciales (Levitt, 2004).

Figura 2

Gasto real vs presupuesto mantenimiento 2025



Nota. La línea naranja representa el gasto real y la azul el presupuesto del año 2025 del área de mantenimiento de la empresa Grundfos, donde se aprecia una diferencia considerable debido a gastos no planificados. Tomado de Informe de gastos 2025 Grundfos Singapore y adaptado de (Souris, 1992) .

La administración del mantenimiento opera mediante el sistema SAP ² para la generación de órdenes de trabajo, la gestión de compras de repuestos y el control presupuestario. No obstante, la forma en que se utiliza el sistema actualmente presenta carencias significativas para una gestión de activos robusta. Entre estas limitaciones se encuentra la ausencia de un registro formal de equipos y la falta de una taxonomía estandarizada. Además, no existe un monitoreo de indicadores de desempeño (KPIs ³), lo cual restringe la capacidad de análisis de datos y la implementación de ciclos de mejora continua en el área (Jardine & Tsang, 2022).

La planta cuenta con certificaciones vigentes en los sistemas de gestión de calidad, medio ambiente y seguridad y salud en el trabajo, específicamente bajo las normas ISO 9001, ISO 14001 e ISO 45001, lo que evidencia el compromiso corporativo con la estandarización y la mejora continua.

Este conjunto de oportunidades refleja un bajo nivel de madurez en la gestión de mantenimiento, marcado por el predominio del enfoque correctivo y la falta de procedimientos formales, lo que limita la mejora continua. Esta situación reduce la capacidad de optimizar el rendimiento y la vida útil de los activos críticos. La literatura señala que la ausencia de un sistema estructurado con taxonomía de equipos, planificación y medición del desempeño es una barrera clave para lograr excelencia operacional y fiabilidad en entornos competitivos (Cárcel Carrasco, 2015).

² SAP (Sistemas, Aplicaciones y Productos en Procesamiento de Datos) es un software ERP (Planificación de Recursos Empresariales) que integra la gestión de las distintas áreas de una empresa, incluyendo finanzas, logística y mantenimiento.

³ Key Performance Indicator, de sus siglas en inglés. Indicador clave de rendimiento.

Planteamiento del problema

La gestión actual del mantenimiento en la planta opera de forma principalmente reactiva. Este enfoque prioriza la reparación de averías, el reemplazo de componentes y la contratación de servicios de terceros por encima de la planificación proactiva. La externalización completa de las tareas de mantenimiento preventivo impide, además, el desarrollo de conocimiento técnico interno y la acumulación de experiencia. Esta dependencia de un único técnico y en soluciones externas muestra una gestión de activos inmadura y alta vulnerabilidad ante imprevistos operacionales (Jardine & Tsang, 2022).

El mantenimiento correctivo no es malo en sí mismo, sino una estrategia consciente denominada operar hasta la falla. El verdadero riesgo no es esta táctica, sino aplicarla por omisión a activos críticos. Para fallos con consecuencias tolerables, donde una tarea proactiva no es rentable, la acción correctiva es la decisión de gestión más lógica. Su eficacia, por tanto, radica en un riguroso análisis previo de criticidad y consecuencias, no en una simple reacción. Así, deja de ser una filosofía de abandono para convertirse en una herramienta de optimización de recursos (Moubray, 1997).

La falta de una guía de trabajo que presente los procesos de mantenimiento de forma sistemática crea la oportunidad para el diseño de un manual de mantenimiento para la línea de ensamblaje, basado en la estructura que propone la norma UNE-EN 17007:2018. La introducción de este manual permite pasar de un modelo reactivo a uno proactivo y planificado. La estandarización de las tareas y procedimientos de trabajo es un pilar fundamental para habilitar la planificación y programación efectivas, elementos clave en la ruta hacia la fiabilidad y la excelencia en el mantenimiento (Gulati, 2020).

Límites del problema

El alcance del proyecto consiste en diseñar y proponer un manual para la gestión del mantenimiento, enfocado exclusivamente en los activos de la línea de ensamblaje de bombas centrífugas multietapa.

La propuesta se basa en la norma UNE EN 17007:2018 e integra los procesos de gestión (MAN), realización —preventivo (PRV), correctivo (COR) y mejora (ACT/IMP), así como los procesos de soporte. El entregable final será un manual que define los procedimientos operativos para el personal interno y los procesos tercerizados (SER), establezca roles y presente un conjunto de indicadores de desempeño para la gestión del mantenimiento de esta línea de producción.

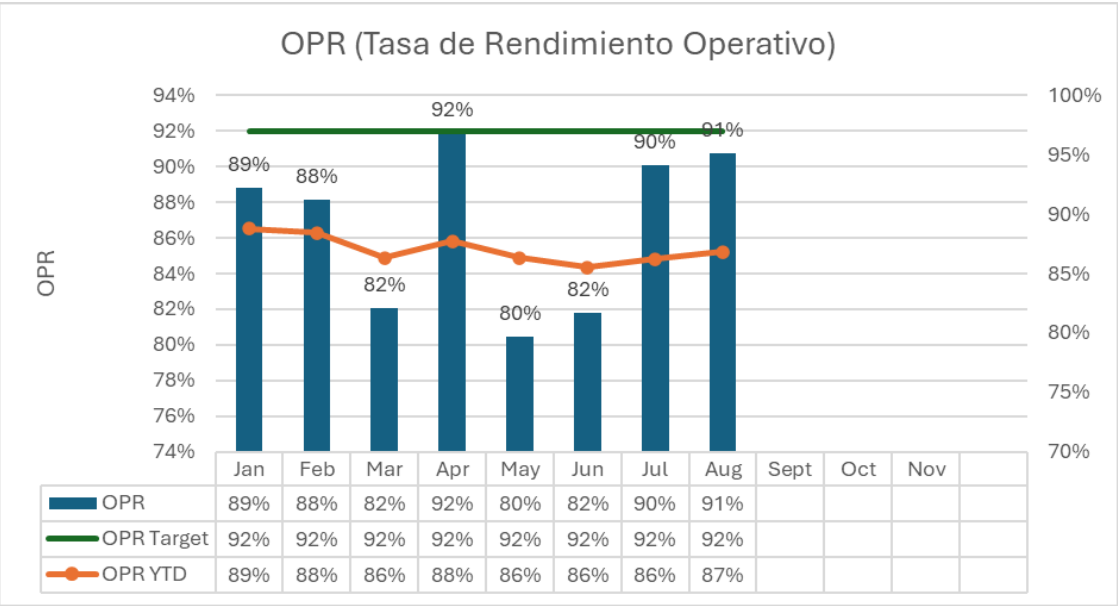
El proyecto va hasta la propuesta formal del manual; por consiguiente, su implementación práctica, la capacitación del personal y el seguimiento posterior de los indicadores propuestos quedan fuera del alcance de esta tesis, pero se propone un cuadro de implementación con fechas y entregables. En relación con el sistema SAP PM, el trabajo no contempla un rediseño de su configuración, sino que ofrece recomendaciones para la utilización óptima de sus funcionalidades existentes.

Justificación

El proyecto surge de la imposibilidad de alcanzar la tasa de rendimiento operativa objetivo (Figura 3) debido a la variabilidad en la eficiencia de los activos por las fallas constantes de los equipos y las demoras en su reparación, esto por una falta de estandarización en los procesos de mantenimiento preventivo y correctivo. Dicha situación, conlleva sobrecostos en la atención de paradas y tiempos de reparación extensos. Esto entra en conflicto con los principios de la gestión de activos, el cual busca la obtención de valor y la confiabilidad operacional de los activos para el cumplimiento de objetivos de la organización (Parra & Crespo, 2012).

Figura 3

Tasa de rendimiento operativo (OPR) 2025



Nota: Resultado OPR de la línea de ensamble de bombas centrifugas CR. La línea verde representa la meta, la naranja el resultado acumulado y las barras azules el resultado mensual. Se observa que solo en un mes se cumple el objetivo y que el resultado acumulado se encuentra 5% por debajo de la meta. Adaptado de Informe de eficiencia operativa, (Grundfos Holding A/S, 2025) y (Beltrán Jaramillo, 2005)

Desde una perspectiva financiera, la necesidad de optimización es igualmente apremiante. Los resultados de ventas (Figura 4) muestran una tendencia donde los ingresos reales se mantienen consistentemente por debajo del presupuesto. Esta diferencia requiere implementar de un plan para la reducción de costos operativos como medida de mitigación donde mantenimiento puede aportar.

Figura 4

Resultados ventas 2025

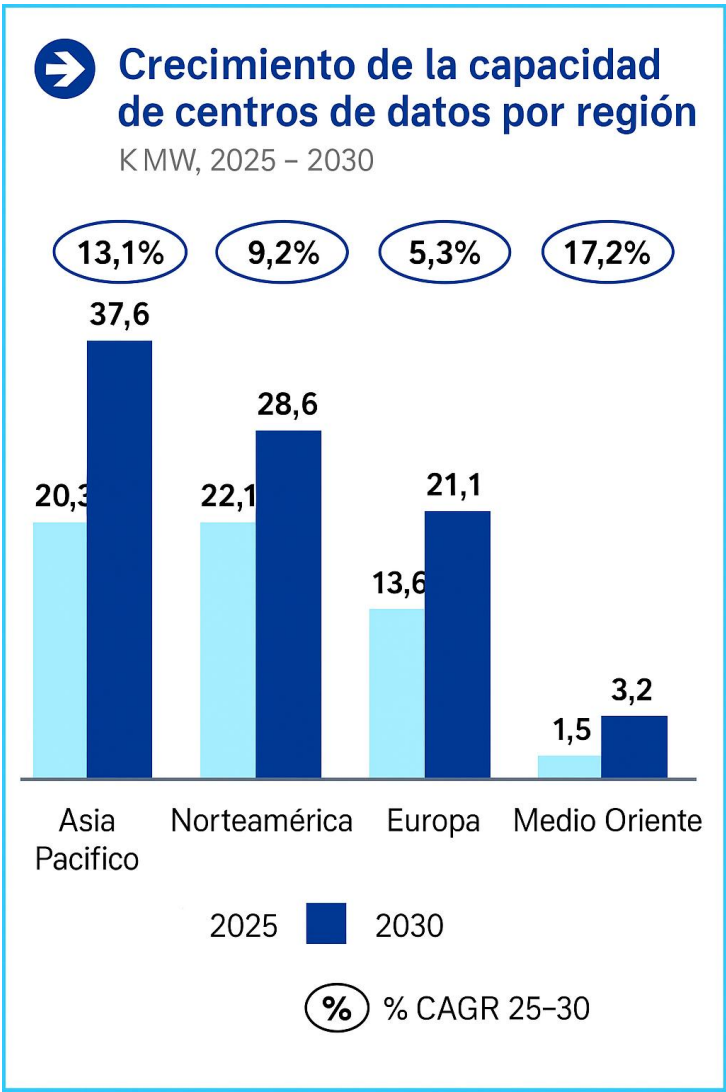


Nota: El presupuesto de ventas no se ha cumplido a lo largo del año. Los valores que se encuentran por debajo del 100% representan una brecha vs el objetivo, debido a esto hay que reducir el gasto operativo para contribuir al costo de producción desde mantenimiento. Adaptado de (Grundfos Holding A/S, 2025) y (González Fernández, 2004).

Al mismo tiempo, la organización identifica oportunidades de negocio estratégicas, como el suministro para sistemas de refrigeración de *data centers*, un mercado que se proyecta crecer un 13.1% anual hasta 2030 (Rival & Choudhary, 2024)

Figura 5

Mercado de centros de datos del sudeste asiático



Nota. La gráfica representa el crecimiento proyectado del mercado de datacenters en Asia Pacífico hasta 2030, con una tasa de crecimiento anual del 13.1%. Tomado de (KPMG Advisory, 2025)

Este escenario muestra la necesidad de contar con un manual de mantenimiento que ahorre recursos y mejore la disponibilidad de equipos, para que la planta pueda adaptarse a las fluctuaciones de demanda y aprovechar las oportunidades emergentes.

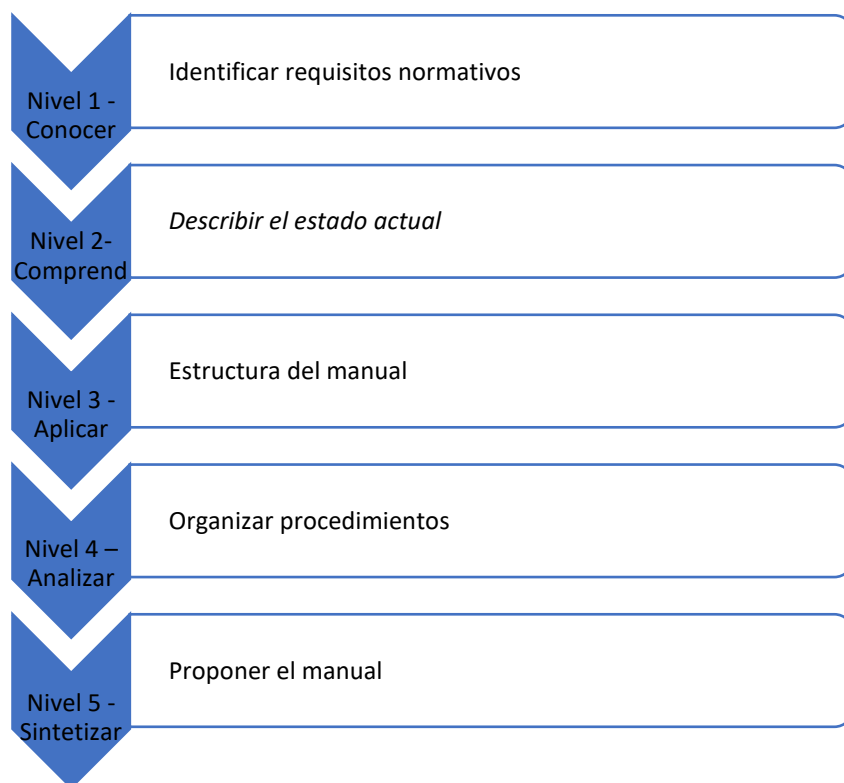
En este contexto, la propuesta de un manual de mantenimiento basado en la norma UNE-EN 17007 se presenta como la solución idónea y focalizada. La estandarización de los procesos a través de este manual permite la reducción de la variabilidad en la ejecución de las tareas, lo que impacta directamente en la disponibilidad de los equipos. Estas acciones contribuyen de manera directa a la reducción de la dependencia de personal clave, al fortalecimiento de la resiliencia operativa de la planta y al alineamiento de las actividades de mantenimiento con los objetivos estratégicos del negocio (Gulati, 2020).

Objetivos

La estructura y la secuencia lógica de los objetivos establecidos usan el modelo de Bloom, Garret-Briggs y Gagné⁴ con taxonomía jerárquica, donde como se observa en la figura 6, se asume que el aprendizaje a niveles superiores depende de la adquisición de habilidades en niveles inferiores, lo que promueve un enfoque holístico en el proceso de educativo

Figura 6

Jerarquía taxonómica de los objetivos



Nota. Secuencia lógica, niveles y relación de objetivos del proyecto basado en la taxonomía de Bloom y Gagné. Adaptado de (Bloom, 1956).

⁴ Benjamín Bloom, Robert Gagné, psicólogos norteamericanos destacados por sus publicaciones en el área de aprendizaje

La metodología utilizada para la estructuración de los objetivos facilita al lector identificar la secuencia de los conceptos revisados en el presente trabajo y una mejor comprensión y articulación de estos.

General

Presentar un manual de mantenimiento para la línea de ensamblaje de bombas centrífugas multietapa basada en la norma UNE EN 17007:2018 que permita optimizar la gestión de los activos para reducir las brechas actuales frente al cumplimiento de esta.

Específicos

Se describen de forma secuencial, con el fin de comprender mejor la dimensión del alcance del proyecto.

Objetivo 1 - Normas.

Identificar los requisitos establecidos en la norma UNE EN 17007:2018, conforme a los lineamientos de mantenimiento y manufactura esperados por la organización. Nivel 1 – Conocimiento Escala de Benjamín Bloom y Robert Gagné.

Objetivo 2 - Estado actual.

Describir el estado actual de la gestión de mantenimiento en Grundfos mediante un diagnóstico y entrevistas con personal clave, para identificar las brechas actuales respecto a la norma UNE EN 17007:2018 y la UNE EN 16646:2014. Nivel 2 - Comprensión de la Escala de Benjamín Bloom y Robert Gagné.

Objetivo 3 - Estructura.

Mostrar la estructura del manual de mantenimiento para la gestión de activos, con base en los 4 procesos definidos por la norma UNE EN 17007:2018, PRV, COR, ACT e IMP adaptados a las características técnicas y organizativas de la línea de ensamblaje. Nivel 3 - Aplicación de la Escala de Benjamín Bloom y Robert Gagné.

Objetivo 4 – Procedimientos.

Organizar los procedimientos específicos y los indicadores de gestión necesarios para la implementación del manual de mantenimiento. Nivel 4 - Análisis de la Escala de Benjamín Bloom y Robert Gagné.

Objetivo 5 - Manual.

Proponer el manual de mantenimiento a través de métricas de confiabilidad, mantenibilidad y costos de mantenimiento. Nivel 5 - Sintetizar - Escala de Bloom & Gagné.

Objetivo 6 - Conclusiones.

Presentar las conclusiones y recomendaciones sobre la propuesta del manual de mantenimiento basado en la norma UNE EN 17007.

Marco teórico

El mantenimiento se define como la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión realizadas durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o a devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida (Kelly A. , 2006).

Las materias cursadas en la Maestría en Gestión de Activos y Mantenimiento son fundamentales para el logro de este proyecto, al aportar conocimientos teóricos y prácticos consolidados en las diversas áreas que abarca la gestión de activos.

Tabla 1

Asignaturas empleadas en la elaboración del proyecto de grado

Materia	Aporte al proyecto
Mantenimiento dentro de la gestión de activos	Determinar los conceptos fundamentales de la Gestión de Activos físicos y su relación con una organización moderna de mantenimiento, con un enfoque protagonista en la sustentabilidad futura de los procesos productivos sustentables
Gestión de la información y medición del desempeño e indicadores SGA	Permite analizar la información obtenida del sistema de información de los activos de una organización, para apoyar la gestión de activos y la toma de decisiones, en concordancia con la Estrategia de Información de Activos y la normativa internacional vigente
Gestión de activos alineado a la ISO 55001	Identificar, conocer y aplicar los requisitos normativos de la norma ISO 55001 para la adecuada gestión del ciclo de vida de los activos, bajo un equilibrio entre gestión de riesgo y evaluación del desempeño

Nota: En la tabla se muestran las materias que se han visto a lo largo de la maestría en gestión de activos y mantenimiento que aportan conocimiento al desarrollo de este proyecto. Elaboración propia.

La asignatura de Mantenimiento dentro de la Gestión de Activos permite comprender cómo la gestión de activos forma parte esencial de la estrategia de gestión de mantenimiento. Este conocimiento resulta fundamental para identificar e implementar las mejores prácticas que garanticen la disponibilidad y confiabilidad de los equipos en Grundfos (Medina, 2021).

La asignatura Gestión de la Información y Medición del Desempeño e Indicadores SGA desarrolla competencias clave para transformar los datos de activos en información estratégica para la toma de decisiones. Esta materia enseña como analizar la información generada por los sistemas de información de activos organizacionales al establecer métricas de desempeño e indicadores clave que faciliten una gestión basada en evidencia y con el uso de software CMMS para su seguimiento (Hang, 2022).

La asignatura Gestión de Activos Alineada a la ISO 55001 es un pilar fundamental para el desarrollo del manual, ya que permite combinar las mejores prácticas de la para crear un manual estándar de gestión de mantenimiento. La incorporación de estos principios garantiza un enfoque integral y estratégico del mantenimiento (da Silva & de Souza, 2022)

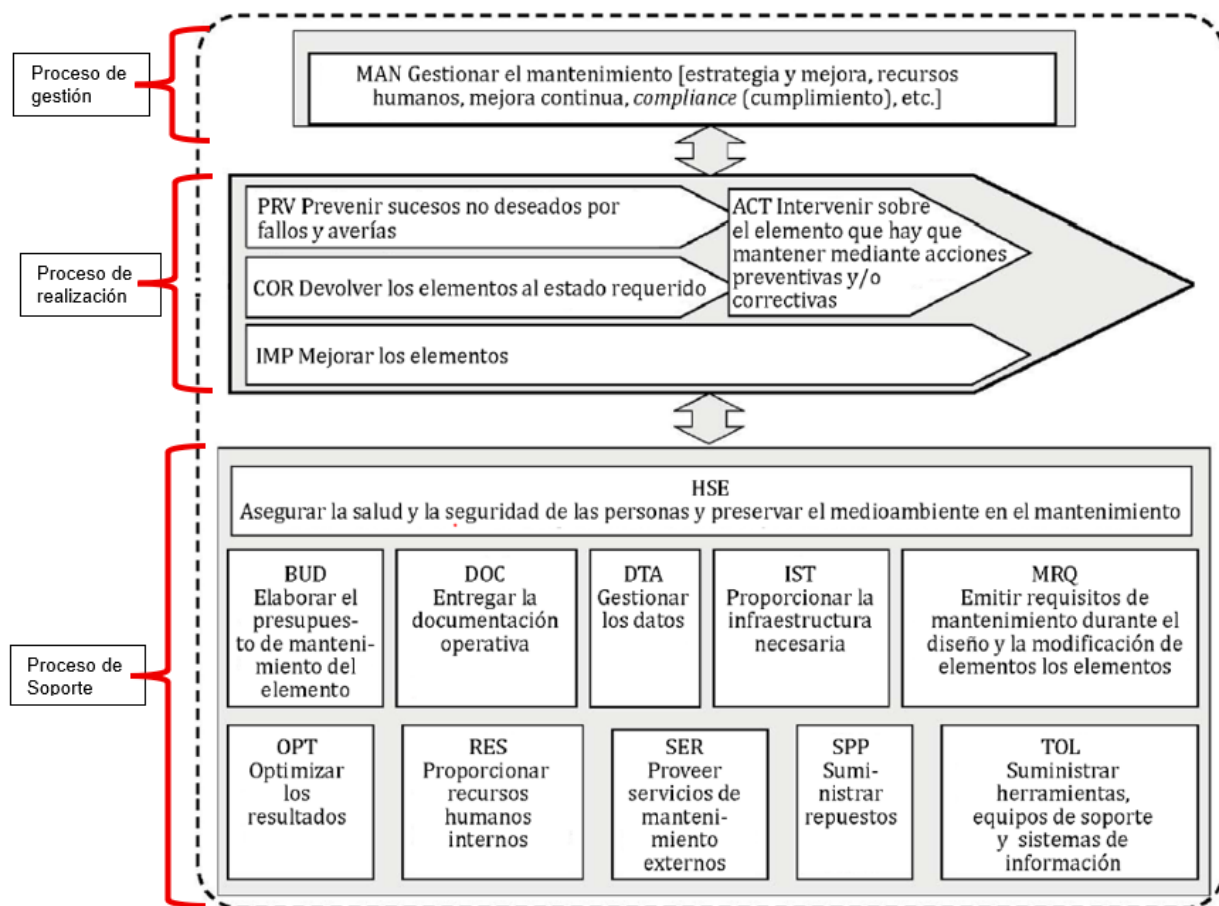
La Norma UNE-EN 17007 amplía esta definición al proponer la formalización del mantenimiento como un proceso descompuesto en subprocesos, lo cual facilita la asignación de responsabilidades, la definición de indicadores clave de desempeño y la monitorización de su eficacia. Este enfoque permite que las organizaciones pasen de una visión reactiva a una gestión estratégica del mantenimiento, alineada con los objetivos del negocio (Navarro et al., 1997).

El modelo de la Norma UNE-EN 17007 descompone el mantenimiento en tres procesos clave: gestión, realización y soporte. Esta estructuración no es meramente teórica; la literatura especializada en organización industrial la reconoce como un pilar para alinear las actividades del día a día con la estrategia del negocio, lo que permite un control efectivo de los recursos y la optimización de los resultados (García Garrido, 2010)

Dentro de este modelo, la norma muestra un mapa de procesos (*Figura 7*), el cual presenta una guía genérica y adaptable para cualquier organización. El proceso de gestión principal, denominado MAN (Gestionar el mantenimiento), supervisa la totalidad del sistema. Los procesos de realización, que impactan directamente sobre el activo, se componen de PRV (Prevenir), COR (Corregir), ACT (Intervenir) e IMP (Mejorar). A su vez, un conjunto de procesos de soporte garantiza la viabilidad de la operación; entre ellos se encuentran HSE (Asegurar la salud y seguridad) y DTA (Gestionar los datos), entre otros. Toda esta arquitectura de procesos se encuentra detallada en la norma (*Kelly A. , 2006*).

Figura 7

Mapa de Procesos (Nivel 1)



Nota. Descomposición del proceso de mantenimiento en procesos de gestión, realización y soporte. Tomado de (UNE-EN 17007, 2018) y adaptado de (Hansen K. B., 2023)

En el proceso PRV, se busca prevenir sucesos no deseados por fallos y averías, para esto se debe identificar y priorizar riesgos a través de una matriz de criticidad para identificar los modos de fallo más importantes, analizar el modo de fallo y las consecuencias de este. La aplicación de la metodología RCM para analizar todas las posibles fallas y tener un plan de acción para actuar y así reducir el tiempo perdido por fallas de equipos (Mikulak y otros, 2008).

El objetivo del proceso COR es devolver los elementos al estado requerido, que cuando un fallo ocurra, este sea reparado de forma eficiente, segura y que permita el aprendizaje para evitar futuras pérdidas de tiempo y dinero. Para esto se sugiere clasificar y priorizar las averías más frecuentes y diagnosticar la causa raíz con la metodología RCA (Okes, 2019).

En el proceso ACT se busca intervenir el equipo mediante acciones preventivas y/o correctivas, ejecutando los mantenimientos de forma organizada, eficiente y segura como parte de la operación diaria. El ciclo comienza clasificando las órdenes de trabajo según su criticidad, definiendo el alcance y determinando el momento adecuado para la ejecución. Luego se establece el método de intervención, se asigna el técnico responsable, se realiza la tarea y finalmente se procede al cierre de la orden (Levitt, 2004) (JIPM, 1996).

Identificar oportunidades de mejora es el proceso IMP de la norma, cuyo objetivo es in un paso más allá de la prevención y la corrección. Se trata de modificar el activo para eliminar los modos de fallo, hacerlo más fácil de mantener, más fiable y seguro. Para lograrlo e identifican oportunidades de mejora con la recopilación de datos para luego evaluar y justificar mejoras. Para esto es importante hacer un análisis del costo del ciclo de vida del activo y poder justificar la implementación de las mejoras (Ebeling, 2019).

Una característica distintiva del modelo propuesto por la UNE-EN 17007 es su enfoque en la medición del desempeño mediante la vinculación de indicadores a cada proceso. Esta capacidad para la evaluación cuantitativa de la eficiencia y la eficacia de las actividades es un pilar para la implementación de un ciclo de mejora continua, principio fundamental en la gestión de activos moderna (Gulati, 2020).

En lugar de prescribir un listado rígido de métricas, la norma ofrece un marco metodológico para que cada organización defina los indicadores más relevantes para su contexto operativo. A modo de ilustración, para el proceso de gestión (MAN), se sugieren elementos para la definición de indicadores que abarcan desde la formalidad de las políticas hasta el seguimiento de costos y presupuestos (Martin et al., 2011).

La norma UNE-EN 16646:2015 entrega un marco conceptual para la integración del mantenimiento dentro de la gestión global de activos físicos. Su enfoque principal es la vinculación de la función de mantenimiento con la estrategia organizacional y los objetivos de negocio, un principio fundamental de la gestión de activos moderna (Crespo Marques, 2007).

La aplicación de este estándar como herramienta de diagnóstico facilita una evaluación sistemática de los procesos de mantenimiento a lo largo del ciclo de vida de los activos. Este análisis posibilita la identificación de fortalezas, debilidades y brechas existentes en la organización frente a las mejores prácticas internacionales (Villacres et al., 2020).

Antecedentes de la investigación o del proyecto

La evolución del mantenimiento industrial se orienta hacia enfoques basados en procesos estandarizados y la mejora continua, donde la gestión por indicadores es fundamental. En este marco, la norma UNE-EN 17007:2018 es una referencia clave al descomponer el mantenimiento en un mapa de procesos con indicadores de desempeño asociados, lo que facilita una evaluación objetiva de su rendimiento (Kelly & Harris, 1998).

Investigaciones académicas previas validan la utilidad de este enfoque para la estructuración de sistemas de medición. La implementación de un sistema de indicadores alineado con la norma UNE-EN 17007 ha demostrado facilitar la trazabilidad de los procesos y una evaluación periódica de los resultados. Dentro de las conclusiones de estos estudios, se subraya la importancia de la capacitación del personal para la correcta interpretación de las métricas y la necesidad de revisiones periódicas para asegurar su pertinencia continua (Rojas Sánchez, 2019).

Asimismo, la utilización de la norma como herramienta de auditoría permite la identificación de brechas críticas en la gestión. Entre las áreas de mejora comúnmente detectadas se encuentran la necesidad de actualizar los planes de mantenimiento, consolidar roles y competencias, y profundizar en el uso de herramientas existentes como SAP-PM. Este tipo de análisis refuerza la idea de que las metodologías de fiabilidad no son iniciativas aisladas, sino que deben formar parte de un proceso integral de gestión de activos que involucre a toda la organización (Parra et al., 2024).

Estado del arte

La gestión de activos físicos ha cobrado relevancia estratégica en organizaciones con uso intensivo de infraestructura y equipos, especialmente en el sector manufacturero. Diferentes normas se adoptan como marco de referencia para estructurar sistemas de gestión que integren mantenimiento, confiabilidad, sostenibilidad y toma de decisiones basada en valor como la ISO 55000:2024. (da Silva & de Souza, 2022).

La implementación de una norma para la gestión de activos en industrias manufactureras enfrenta desafíos relacionados con la estructuración documental, la alineación entre planes estratégicos y operativos, y la integración de múltiples áreas funcionales como mantenimiento, operaciones, finanzas y recursos humanos. Estos retos se agravan en contextos donde no existe una cultura previa de gestión de activos, lo que exige un enfoque progresivo y adaptado a las capacidades organizacionales (Lárez Alcázar, 2019).

La nota informativa del comité ISO/TC 251 señala que la adopción de una norma para gestionar activos contribuye a mejorar el desempeño organizacional, optimizar costos, gestionar riesgos y fortalecer la confianza de las partes interesadas. En el sector manufacturero, estas mejoras se traducen en mayor disponibilidad operativa, reducción de fallas y mejor control presupuestal.

Marco o Elaboración metodológicos

Enfoque de la investigación

La presente investigación adopta un enfoque mixto, al combinar métodos cualitativos y cuantitativos para abordar de manera integral el problema identificado. El enfoque cualitativo permite comprender el contexto organizacional, las prácticas actuales de mantenimiento y las percepciones del personal involucrado, mientras que el enfoque cuantitativo facilita la medición de indicadores de desempeño antes y después de la implementación del manual (Creswell & Plano Clark, 2018)

La recolección de información utiliza entrevistas en profundidad dirigidas al personal técnico de la organización, específicamente a quienes participan en los procesos de mantenimiento. Estas entrevistas permiten conocer la visión, experiencias y prácticas actuales dentro de la organización, así como identificar fortalezas, debilidades y oportunidades de mejora en la gestión del mantenimiento (Villacres et al., 2020).

El análisis de los resultados del diagnóstico propone un manual metodológico y estructurado que mejora la gestión del mantenimiento en la planta. La propuesta se alinea con los lineamientos de la gestión de mantenimiento e integra las variables más relevantes identificadas durante el proceso de evaluación (González Fernández, 2004).

La propuesta considera la realidad operativa de la planta, busca ser adaptable y práctica para contribuir al fortalecimiento estratégico de la función de mantenimiento dentro de la empresa.

Tipo de estudio y de análisis a desarrollar

La investigación se enmarca en la modalidad de proyecto factible, con un diseño no experimental y un enfoque aplicado. Consiste en la elaboración de una propuesta de mejora para la gestión de mantenimiento de la empresa Grundfos, a través del diseño de un manual de procesos basado en la Norma UNE-EN 17007. La metodología parte de un diagnóstico de la situación actual para luego estructurar una solución operativa viable que responda a las necesidades identificadas (Hernández Sampieri y otros, 2014).

Para este fin, el estudio utiliza información secundaria que incluye tanto el marco normativo del estándar como la documentación interna de la empresa Grundfos. Dicha documentación interna comprende datos históricos, informes técnicos, indicadores operativos y los procedimientos actuales de la gestión de mantenimiento.

Para asegurar el rigor metodológico del estudio, la validez de los hallazgos se garantiza mediante la triangulación de las fuentes de información, es decir, el cruce de los datos obtenidos en las entrevistas y el análisis documental. La confiabilidad del proceso se asegura a través de la aplicación sistemática de los instrumentos de recolección y la revisión de los resultados por expertos en gestión de activos, en línea con las buenas prácticas para estudios de caso (Yin, 2018)

Fases del proyecto

El desarrollo de este proyecto de grado sigue una metodología estructurada en cinco fases secuenciales, diseñadas para asegurar la coherencia y el rigor desde el análisis normativo hasta la propuesta final.

Figura 8

Fases de la metodología del proyecto



Nota: Representación gráfica de las fases de la elaboración metodológica. Adaptado de (Project Management Institute, 2021).

La fase 1 se centra en el análisis exhaustivo de la Norma UNE EN 17007:2018. Se realiza una deconstrucción detallada de su estructura, con especial atención a sus familias de procesos y, en particular, a los procesos de realización PRV, COR, ACT e IMP. El análisis no es meramente teórico; se traduce cada requisito y recomendación del estándar al contexto de la planta. El resultado de esta fase es una matriz de requisitos normativos que sirve como lista de verificación y base para el diagnóstico.

En la fase 2 se ejecuta un diagnóstico completo para determinar el estado actual de la gestión de mantenimiento en Grundfos. Se aplican instrumentos de recolección de datos como entrevistas con el personal técnico, administrativo y operativo y se realiza un análisis de la documentación existente. La información recolectada se compara con la matriz de requisitos de la Fase I. Con esto se identifican y documentan las brechas operativas respecto a la UNE EN 17007 y las brechas estratégicas respecto a la UNE EN 16646. El producto final de esta fase es un informe de diagnóstico que detalla las áreas de oportunidad y las desviaciones específicas (González Fernández, 2004).

En la fase 3 se procede al diseño y la elaboración del manual. Primero, se define la macroestructura del documento, con capítulos principales que corresponden a los procesos PRV, COR, ACT e IMP. Esta estructura se adapta a las características específicas de la línea de ensamblaje de Grundfos. Posteriormente, se desarrolla el contenido detallado: se redactan los procedimientos operativos específicos para cada subproceso, se diseñan los formatos asociados (órdenes de trabajo, listas de verificación, informes de fallo) y se definen los indicadores de gestión (KPIs) que permitirán medir la eficacia de cada procedimiento. El entregable de esta fase es la primera versión borrador del manual (Kelly & Harris, 1998).

En la fase 4 se hace el borrador de una propuesta formal y robusta. Se refina la redacción del manual y se complementa con los flujogramas y matrices de responsabilidades necesarios para su clara comprensión. Adicionalmente, se desarrolla un capítulo de justificación técnica para el manual. En este, se argumenta cómo la implementación de los procedimientos propuestos impacta directamente en la mejora de métricas clave para el negocio, tales como la confiabilidad de los equipos, la mantenibilidad de los procesos y la optimización de los costos de mantenimiento (Dhillon, 2002).

La fase 5 se dedica a la síntesis y el análisis crítico de todo el trabajo realizado. Se elaboran las conclusiones, las cuales conectan los hallazgos del diagnóstico de la Fase II con la solución desarrollada en la Fase 4, se muestra cómo el manual responde a las brechas identificadas. A continuación, se formulan las recomendaciones, que van más allá de la simple entrega del manual. Estas incluyen un plan sugerido para la implementación, así como la identificación de posibles trabajos futuros para asegurar la sostenibilidad y la mejora continua del sistema de gestión de mantenimiento (Duffuaa et al., 2002).

Desarrollo

Objetivo 1 - Normas

Identificar los requisitos establecidos en la norma UNE EN 17007:2018, conforme a los lineamientos de mantenimiento y manufactura esperados por la organización.

La norma UNE EN 17007 se compone de 3 grandes procesos, el de gestión, el de realización y el de soporte. Este trabajo se enfoca en el proceso de realización como parte fundamental para la gestión de mantenimiento, si dejar atrás los otros procesos.

Proceso MAN: Gestionar el mantenimiento

El proceso MAN es el único proceso de gestión dentro del marco de la norma UNE-EN 17007 y actúa como pilar de todo el sistema de mantenimiento. Su propósito central es gestionar el mantenimiento para alcanzar los objetivos establecidos por la dirección de la empresa, mediante siete actividades clave que establecen la política y estrategia, identifican actividades internas y externas, determinan la organización y responsabilidades, elaboran presupuestos, supervisan acciones, gestionan la información y definen áreas de mejora continua (Blanchard, 2014).

El proceso MAN es el que traduce los objetivos corporativos en acciones de mantenimiento para asegurar la alineación entre la alta dirección y las operaciones. Este gestiona la asignación de recursos, define políticas de tercerización y establece prioridades que buscan el balance óptimo entre costos, riesgos y desempeño. Finalmente, impulsa un ciclo de mejora continua basado en el análisis de indicadores para garantizar la efectividad del programa de mantenimiento (Global Forum on Maintenance & Asset Management, 2021).

Tabla 2*Entradas y salidas en el proceso MAN*

Actividad Clave	Descripción	Entradas Principales	Salidas Principales
MAN1 - Formulación de la Estrategia de Mantenimiento	Definición de la visión, misión y objetivos alineados al Plan Estratégico del Negocio.	Plan estratégico corporativo; Requisitos legales.	Plan Estratégico de Mantenimiento (PEM) y Objetivos.
MAN2 - Definición del Modelo de Sourcing (Interno vs. Externo)	Análisis estratégico para determinar las competencias centrales y qué actividades externaliza.	Plan Estratégico de Mantenimiento (PEM) y Objetivos.	Definición de Actividades Propias vs. Subcontratadas.
MAN3 - Diseño Organizacional y de Roles	Estructuración del organigrama, definición de competencias y matriz de responsabilidades.	Definición de Actividades Propias vs. Subcontratadas.	Estructura Organizacional y Roles Definidos.
MAN4 - Gestión Presupuestaria y de Recursos	Elaboración del presupuesto base cero o histórico y asignación de recursos financieros.	Estructura Organizacional y Roles Definidos; Histórico de costes.	Presupuesto de Mantenimiento Aprobado.
MAN5 - Supervisión y Control de Gestión	Monitoreo de la ejecución del plan táctico y operativo para asegurar el cumplimiento de objetivos.	Presupuesto de Mantenimiento Aprobado; Reportes de ejecución (del día a día).	Datos de Desempeño y Desviaciones.
MAN6 - KPIs	Implementación de sistemas de información y Cuadro de Mando Integral para la toma de decisiones.	Datos de Desempeño y Desviaciones.	Tableros de Control (Dashboards) e Informes.
MAN7 - Análisis de Brechas y Mejora Continua	Evaluación del desempeño global para retroalimentar la estrategia e iniciar ciclos de mejora.	Tableros de Control (Dashboards) e Informes.	Planes de Mejora Estratégica (Retroalimentación a MAN.1).

Nota. La tabla detalla la jerarquía de decisiones estratégicas según la Norma UNE EN 17007, desde la definición de la política y el modelo de sourcing, hasta el control presupuestario y la medición del desempeño mediante cuadros de mando. La entrada de cada proceso es la salida del proceso anterior, lo cual forma el sistema de gestión. Adaptado de (Crespo Marques, 2007).

Proceso PRV: Prevenir sucesos no deseados por fallo y averías

El proceso PRV se enfoca en la planificación proactiva para evitar fallos. Para lograrlo, se apoya fundamentalmente en DTA (Gestionar Datos) y OPT (Optimizar), que le ayudan a analizar históricos y tendencias para definir qué tareas preventivas son más efectivas y con qué frecuencia deben realizarse. Además, utiliza DOC (Documentación) para consultar manuales de fabricante y MRQ (Requisitos de Diseño) para conocer los planes de mantenimiento iniciales del activo.

PRV se estructura en dos subprocesos complementarios: PRV.1 que caracteriza los sucesos no deseados mediante la elaboración de listas de eventos probados y potenciales, determina sus causas raíz y secuencias causales, evalúa los efectos sobre disponibilidad, fiabilidad, seguridad, medio ambiente y costes, prioriza los sucesos según criticidad e incidencia, y distingue entre fallos evidentes y ocultos para el usuario; y PRV.2 que usa y actualiza los planes de mantenimiento al determinar tareas factibles de mantenimiento preventivo sistemático y basado en condición (Di Pasquale et al., 2024).

PRV utiliza como entradas principales la documentación técnica del fabricante, los objetivos operacionales definidos por MAN, el histórico de elementos y registros de mantenimiento proporcionados por OPT y DTA, y los planes iniciales establecidos por MRQ, mientras genera como salidas los planes de mantenimiento preventivo actualizados, las mejoras requeridas de elementos y procedimientos, y la caracterización completa de sucesos críticos con sus consecuencias e incidencias para constituir la base de una gestión predictiva y eficiente de los activos físicos de la organización (Hansen K. B., 2023).

Tabla 3*Entradas y salidas para el proceso PRV*

Actividad Clave	Descripción	Entradas Principales	Salidas Principales
PRV1 - Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA)	Identificación de funciones, fallos funcionales y modos de fallo según el contexto operacional del activo.	Contexto operacional; Documentación técnica.	Modos de Falla Críticos y Priorizados.
PRV2 - Selección de Tareas y Diagrama de Decisión	Aplicación de la lógica de decisión RCM para determinar tareas proactivas técnica y económicamente viables.	Modos de Falla Críticos y Priorizados; Datos de fiabilidad.	Plan de Mantenimiento Preventivo Optimizado.

Nota. Se describen las fases analíticas para la identificación de modos de fallo críticos y la determinación de las estrategias proactivas técnica y económicamente viables para mitigar riesgos operativos siguiendo el flujo de trabajo integrado con el proceso PRV. Adaptado de (Gulati, 2020).

Es aquí donde el RCM se posiciona como una metodología ideal. RCM es un proceso estructurado que utiliza un análisis de modos de fallo y efectos (AMEF) y un diagrama de decisión lógico para determinar las tareas de mantenimiento más adecuadas en función de las consecuencias de los fallos. Su enfoque no es prevenir todos los fallos, sino gestionar sus consecuencias de manera costo-efectiva, alineándose perfectamente con el objetivo de priorización y gestión de sucesos no deseados del proceso PRV (Parra & Crespo, 2012).

La alineación se consolida en tres pilares clave:

1. Enfoque en las Funciones y el Desempeño: Ambos marcos parten de la premisa de que el mantenimiento debe preservar la función de los activos a un nivel de desempeño deseado por el usuario.
2. Priorización Basada en Consecuencias: El RCM formaliza la priorización que el PRV exige para clasificar las consecuencias de los fallos (seguridad, medio ambiente, operacionales, no operacionales), lo que garantiza que los recursos se enfoquen en los riesgos más significativos.
3. Justificación Lógica y Auditable: RCM genera una documentación que justifica la selección (o no selección) de cada tarea la cual proporciona la trazabilidad y la base defendible que un sistema de gestión basado en una norma requiere (Navarro et al., 1997).

Para realizar este análisis es necesario conformar un equipo que incluya al técnico de mantenimiento, el supervisor de producción, el ingeniero de mantenimiento y un especialista en calidad o seguridad industrial. Además, se debe definir el contexto operacional del activo y el volumen de control, es decir, el alcance físico y funcional sobre el cual se aplicará el análisis. Esta etapa es fundamental porque sienta las bases del análisis y asegura que el mantenimiento esté alineado con los objetivos del negocio (Mikulak et al., 2008).

En PRV1 se requiere la caracterización de sucesos no deseados la cual se ejecuta al responder sistemáticamente a las primeras cinco preguntas de RCM como se muestra en la Figura 9 a continuación.

Figura 9**Comparación entre RCM y FMEA para mantenimiento**

Objetivo	Resultado esperado	Beneficio	RCM	FMEA + Norma ISO 14224 + OREDA
Determinar las funciones de un equipo.	Tener identificado qué se espera de cada equipo.	Acotar la necesidad de prestación mínima e intervenciones necesarias.	Al no estar acotadas pueden generarse grandes listas.	Se toman las clases de equipos de la norma y se llena la hoja técnica. La función principal está definida por la clase /tipo de equipo.
Identificar de qué forma puede fallar (pérdida de funciones).	Tener un listado limitado y acotado de los modos de falla bajo un criterio único.	Trabajar sólo con los modos de falla identificados.	Al no estar acotadas pueden generarse grandes listas que abarcan desde modos relevantes hasta irrelevantes. Puede olvidarse algún modo de falla relevante.	El criterio tomado es la función de operación. Se toman de la norma los modos de falla acotados predefinidos y relevantes.
Determinar qué causa la falla.	Tener un listado completo de los causantes de la falla.	Tener capacidad de análisis para eliminar o mitigar la falla.	Es libre. Depende de la experiencia de los analistas y los datos históricos que se tengan. Proclive a omitir causa de fallas o puede profundizarse en demasía. Depende de pasos anteriores.	Acotadas las causas como también la profundidad hasta donde se quiere llegar. Netamente técnico y orientado al componente.
Evaluar cuáles son las consecuencias de la falla. Evaluar los riesgos.	Cuantificar costos, riesgos y consecuencias de las fallas, en lo posible con datos históricos.	Capacidad de comparación de costos y riesgos asumidos. Capacidad de decisión y conocimiento previo. Prevención en etapas de diseño y montaje.	Los datos de frecuencia de fallas y consecuencias son estimados por los analistas. Depende de los pasos anteriores.	Hay datos de frecuencia de fallas que se pueden tomar del OREDA. Las consecuencias son estimadas. Depende de los pasos anteriores.
Definir la metodología para eliminar o mitigar fallas y riesgos.	Evaluar acciones a tomar y costos versus las consecuencias.	Capacidad de análisis de la sensibilidad de la acción elegida versus costos y riesgos asumidos.	Depende de la experiencia y conocimientos del grupo analista. Toma importancia la calidad de los registros históricos.	Depende de la experiencia y conocimientos del grupo analista. Las acciones parten de estadísticas históricas.
Reconocer cuándo no se puede identificar la falla.	Mitigar riesgos, planes de contingencia.	Acotar riesgos.	Depende del contexto operativo.	Depende del contexto operativo.

Nota: La tabla presenta una comparación de los objetivos, resultados y beneficios entre la metodología RCM y el enfoque basado en FMEA integrado con la norma ISO 14224 y la base de datos OREDA. Tomado de (Troffé, 2009).

La evaluación de consecuencias en RCM es un proceso lógico que clasifica cada modo de fallo en una de cuatro categorías para priorizar su gestión. Inicialmente se determina si el fallo es Oculto (H), lo que implica un riesgo de fallo múltiple. Si es evidente, se evalúa si tiene consecuencias para la Seguridad o el Medio Ambiente (S/E). Si no las tiene, se analiza si genera un impacto Operacional (O) en la producción o calidad, donde las tareas se justifican por su costo-efectividad. Finalmente, si el único impacto es el costo de la reparación, se clasifica como No Operacional (N) (Moubray, 1997).

Una vez caracterizados y priorizados los fallos, se procede a seleccionar las estrategias de gestión, lo que se alinea con el subproceso PRV.2. Para cada modo de fallo, se aplica el diagrama de decisión de RCM:

1. Selección de Tareas Proactivas: Se evalúa la viabilidad técnica y la efectividad de las tareas proactivas disponibles (a condición, restauración cíclica, sustitución cíclica) para gestionar las consecuencias del fallo. Solo se seleccionan aquellas que son técnicamente factibles y costo-efectivas.
2. Selección de Acciones a Falta de Tareas: Si no se encuentra una tarea proactiva adecuada, se determina una acción por defecto. Esto puede incluir el rediseño del activo, la implementación de tareas de búsqueda de fallos (para funciones ocultas) o, si el riesgo es tolerable, la decisión de no realizar mantenimiento programado.

La (Figura 10) ilustra la estructura de documentación de un análisis RCM completo. Su formato guía al equipo a través de las siete preguntas de la metodología, al iniciar por la definición de funciones y fallos, para luego analizar sus causas y efectos. El paso crucial de priorización se realiza en la columna Clasificación de Consecuencias y se aplica un diagrama de decisión lógico. Las últimas columnas documentan la estrategia de gestión resultante para justificar cada tarea seleccionada (U.S. Department of Defence, 2011).

Figura 10*Hoja de cálculo para elaboración del análisis RCM*

Nombre del Activo _____									
Sistema/Subsistema _____									
Contexto Operacional _____									
Función y Estándar de Desempeño	Falla Funcional	Modo de Falla y Causa	Efecto de Falla	Consecuencia (S, A, O, N)	Tarea Propuesta	Tipo de Tarea	Frecuencia	Recursos Necesarios	Prioridad

Nota: Esta tabla es una herramienta de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) que sirve para analizar sistemáticamente las fallas potenciales de un activo. Su objetivo es definir y priorizar las tareas de mantenimiento más efectivas para garantizar la seguridad, el funcionamiento y la eficiencia del equipo. Adaptado de (Mikulak et al., 2008).

El resultado del análisis RCM es un conjunto documentado de tareas de mantenimiento, con frecuencias y responsables asignados, así como una lista de mejoras de diseño o procedimientos recomendadas. Este conjunto representa el plan de mantenimiento y las mejoras requeridas que son los productos de salida del proceso PRV el cual brinda una base sólida y auditable para la gestión proactiva de la confiabilidad de los activos (Carlson, 2012).

También se puede implementar el modelo presentado por Moubray y añadir una calificación de criticidad en cuanto a severidad, ocurrencia y detección, para así obtener el RPN y dar prioridad a los modos de fallo más críticos. El formato propuesto por Stamatis (2003) se presenta a continuación

COR.2 diagnostica el estado del elemento mediante la identificación del elemento afectado y sus efectos, la localización de causas probables de fallo, la búsqueda de repeticiones, y el establecimiento de la cadena causal completa hasta las causas raíz.

El proceso comparte con PRV el subproceso común ACT que ejecuta las intervenciones físicas, pero se diferencia por su carácter reactivo enfocado en problemas ya manifestados.

Tabla 4

Entradas y salidas del proceso COR.

Actividad Clave	Descripción	Entradas Principales	Salidas Principales
COR1 - Recepción, Triage y Priorización	Organiza ordenes que requieren mantenimiento correctivo según importancia y restricciones; establece cronograma	Avisos de avería; Matriz de criticidad de equipos.	Lista de avisos priorizados; Estimación preliminar de recursos.
COR2 - Diagnóstico del elemento	Investigación técnica para identificar la causa física, humana y latente del fallo, más allá del síntoma.	Avisos Priorizados y Seleccionados para Análisis; Evidencia física.	Causa Raíz Identificada y Solución Técnica.

Nota: La tabla sistematiza la respuesta ante averías, estableciendo un filtro de priorización y un método de análisis profundo para asegurar que se eliminan las causas latentes y no solo los síntomas. La tabla hace referencia al proceso COR de la norma UNE-EN 17007:2018. Adaptado de (Mobley, 2002), y (Kelly A. , 2006).

Para el proceso COR, es importante entender las fallas repetitivas y clasificarlas de acuerdo con su importancia para el proceso. Basado en COR.1, el manual debe incluir una matriz simple de criticidad que cruce el impacto en la producción (parada total, parcial, sin impacto) con el impacto en la seguridad o calidad. Esto da una prioridad a cada aviso y permite gestionar los recursos de forma objetiva (Mora Gutiérrez, 2009).

Tabla 5**Matriz de priorización de mantenimiento correctivo**

Matriz de Priorización de Mantenimiento Correctivo				
Impacto del Fallo	Descripción	Prioridad	Tiempo de Respuesta	Ejemplo de Avería en la Línea Grundfos
CRÍTICO	Parada total de la línea de ensamble. Riesgo inminente para la seguridad del personal o el medio ambiente (derrame, riesgo eléctrico grave).	P1 - INMEDIATO	< 15 minutos	Falla el motor principal de la cinta transportadora; Fuga de aceite a presión; Se activa una parada de emergencia que no se puede rearmar.
ALTO	Parada de una estación de trabajo crítica que genera un cuello de botella y detendrá la línea en poco tiempo. Afecta la calidad del producto de forma crítica (ej. bombas mal ensambladas).	P2 - URGENTE	< 2 horas	La máquina de inserción de rodamientos funciona de forma intermitente; El equipo de prueba de estanqueidad da errores y no valida las bombas.
MEDIO	Fallo en un equipo redundante o no crítico. El problema ralentiza la producción pero no la detiene. Afecta la calidad de forma no crítica o la ergonomía del operario.	P3 - NORMAL	Dentro del turno (8h)	Falla una de las dos pistolas de torque (se puede usar la de repuesto); La iluminación de un puesto de trabajo parpadea; Falla un sensor secundario de monitoreo.
BAJO	Anomalía menor sin impacto en producción, seguridad o calidad. El equipo funciona pero con alguna deficiencia que puede esperar.	P4 - PROGRAMABLE	Dentro de la semana	Una luz indicadora está quemada; Un panel de la máquina está suelto y hace ruido; Pequeña fuga de aire comprimido que no afecta al funcionamiento.

Nota: La tabla 5 muestra una metodología sencilla para la priorización de avisos de mantenimiento correctivo, con ella se puede clasificar cada aviso para asignar el tiempo de respuesta requerido. Adaptado de (García Garrido, 2010).

Para abordar de manera sistemática el subproceso COR.2: Diagnosticar el estado del elemento en cuestión, que busca detectar averías, localizarlas e identificar las causas raíz, se propone la utilización del Análisis por Árbol de Fallos (FTA). Esta metodología está estandarizada y descrita en la norma (IEC, 2006)

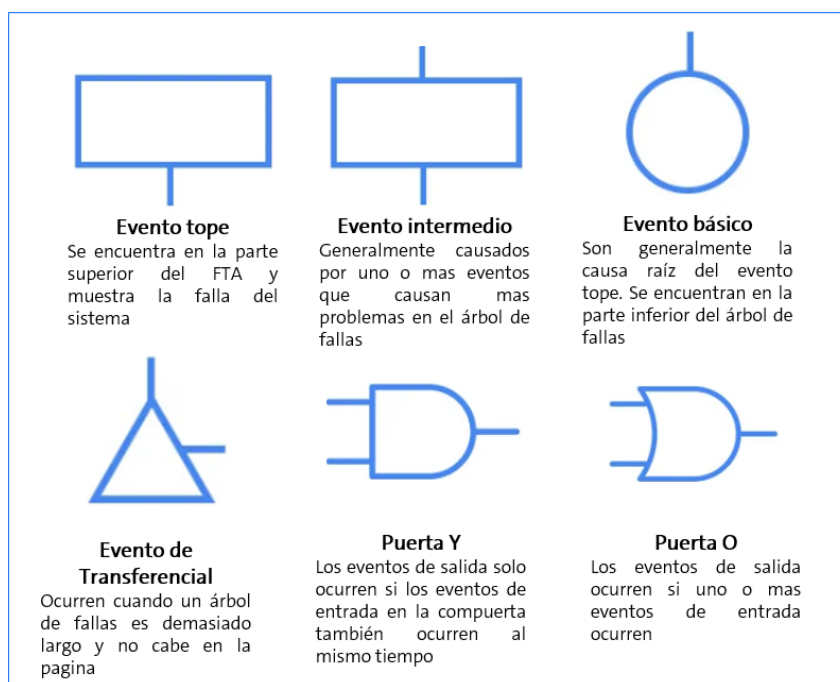
Según esta norma, el FTA es un método de análisis deductivo que parte de un evento tope indeseado y descompone sistemáticamente las posibles causas o combinaciones de causas que pueden haberlo provocado. Por su naturaleza gráfica y lógica, es una herramienta ideal para el diagnóstico en mantenimiento, ya que permite visualizar la relación entre el síntoma del fallo y sus posibles causas raíz (Halme & Aikala, 2012).

El análisis se divide en 5 pasos que se explican a continuación:

Paso 1: Definir el evento tope. Este representa el fallo funcional o la avería principal que ha motivado la intervención de mantenimiento correctivo. El evento tope debe ser definido de forma precisa, ya que constituye el foco de todo el análisis. Es crucial ser específico, se debe emplear una definición funcional precisa.

Paso 2: Definir los límites y el alcance del sistema. Consiste en establecer los límites físicos y funcionales del equipo a investigar, para evitar que el análisis se desvíe hacia sistemas o componentes no pertinentes. La norma IEC 61025, en sus secciones 6.2 y 7.2, subraya la importancia de definir claramente el sistema, sus interfaces (eléctricas, mecánicas, operacionales) y sus modos de funcionamiento (Veseley et al., 1981).

Paso 3: Construcción del árbol de fallos. Se inicia por evento tope, se plantea la pregunta: ¿Qué causas inmediatas, necesarias y suficientes pueden provocar este evento? Las respuestas se convierten en eventos de entrada en el siguiente nivel del árbol, conectados mediante puertas lógicas que definen su relación. Los símbolos para estas puertas están estandarizados y se aprecian en la Figura 12, donde las más comunes son la puerta O (OR), que indica que el evento de salida ocurre si cualquiera de las entradas sucede, y la puerta Y (AND), que requiere que todas las entradas ocurran simultáneamente (Rausand, 2004).

Figura 12*Símbolos del árbol de falla*

Nota: Descripción de la simbología estándar utilizada en la metodología de Análisis de Árbol de Fallas (FTA), detallando los tipos de eventos y las compuertas lógicas para la evaluación de sistemas.

Adaptado de (Rausand, 2004) y (Veseley et al., 1981).

Este proceso implica tomar cada uno de estos eventos intermedios y, a su vez, tratarlos como sub-eventos tope, descomponiéndolos en sus propias causas hasta que no sea posible una mayor subdivisión.

Paso 4: Identificar los eventos básicos. Un evento básico es aquel que no puede o no necesita ser desarrollado con más detalle para los propósitos del análisis. Generalmente, estos corresponden a fallos de componentes elementales, errores humanos o condiciones externas. Se representan gráficamente con un círculo y son el punto final de cada rama del árbol.

Paso 5: Análisis del árbol completo. El árbol construido se convierte en un mapa lógico que el equipo técnico puede seguir para identificar la causa raíz de manera eficiente. El análisis implica identificar los conjuntos de corte mínimos, definidos en la sección 3.7 de la norma como el conjunto más pequeño de eventos básicos cuya ocurrencia simultánea garantiza que el evento tope ocurra (Parra et al., 2024).

En la práctica del diagnóstico, cada evento básico representa una causa potencial que debe ser verificada. El equipo puede entonces realizar comprobaciones de manera estructurada, al seguir las distintas ramas del árbol para luego documentar los hallazgos, lo que convierte al FTA en una poderosa herramienta no solo para la resolución de problemas, sino también para la gestión del conocimiento (Rausand, 2004).

Proceso ACT: Intervenir sobre el elemento, que hay que mantener, mediante acciones preventivas

Este es el proceso de ejecución física donde se realizan las tareas de mantenimiento, por lo que depende de la mayoría de los soportes. Requiere de RES (Recursos Humanos) o SER (Servicios Externos) para asignar al personal; SPP (Repuestos) y TOL (Herramientas) para proveer los materiales y equipos. Toda la intervención se enmarca en las directrices de HSE (Seguridad) para garantizar un trabajo seguro (permisos, LOTO), a través del uso de la DOC (Documentación) como la orden de trabajo que guía la ejecución. ACT se estructura en siete subprocesos secuenciales descritos en la Tabla 6 (JIPM, 1996).

Este proceso actúa como puente operativo entre los procesos estratégicos PRV y COR, al recibir como entradas principales los planes de mantenimiento preventivo, diagnósticos de averías, documentación técnica, recursos humanos, herramientas y repuestos, mientras genera como salidas elementos en estado funcional calificados, informes de mantenimiento, experiencias documentadas y recursos liberados, para constituir el proceso donde la planificación se transforma en acción y los elementos recuperan o mantienen su capacidad de desempeñar la función requerida (Hansen K. B., 2023).

Tabla 6

Entradas y salidas del proceso ACT.

Actividad Clave	Descripción	Entradas Principales	Salidas Principales
ACT1 - Validación del Alcance	Revisión de la solicitud para asegurar claridad en el problema y justificación de la intervención.	Solicitudes de Trabajo / Planes Preventivos.	Orden de Trabajo creada y validada.
ACT2 - Planificación Detallada	Definición del método de trabajo, repuestos, herramientas y permisos necesarios antes de programar.	Orden de Trabajo creada y validada.	OT planificada (con Recursos y Repuestos definidos).
ACT3 - Programación Semanal	Asignación de ventanas de tiempo específicas balanceando la carga laboral con la capacidad disponible.	OT Planificada (con Recursos y Repuestos definidos).	Programa Semanal de Mantenimiento.
ACT4 - Coordinación Diaria y Logística	Ajuste fino del programa diario y coordinación con operaciones para la liberación de equipos.	Programa Semanal de Mantenimiento.	Asignación Diaria y Permisos Listos.
ACT5 - Asignación y Despliegue	Entrega de instrucciones al técnico y movilización de recursos al sitio de trabajo.	Asignación Diaria y Permisos Listos.	Técnico en Sitio con Recursos.
ACT6 - Ejecución Técnica	Realización física de la tarea siguiendo estándares de calidad y seguridad (HSE).	Técnico en Sitio con Recursos.	Activo Restaurado y Pruebas Finalizadas.
ACT7 - Cierre Técnico y Feedback	Documentación de la historia: qué se hizo, qué se usó, y lecciones aprendidas para mejorar planes futuros.	Activo Restaurado y Pruebas Finalizadas.	OT Cerrada e Historial Registrado.

Nota. Se detalla la secuencia operativa que separa estrictamente la planificación de recursos (el cómo) de la programación temporal (el cuándo) para garantizar la eficiencia en la ejecución en campo (Palmer, 2013).

El proceso ACT es común tanto para las tareas preventivas (que surgen del proceso PRV) como para las correctivas (que surgen del proceso COR). Básicamente, describe el ciclo de vida de una orden de trabajo (OT), desde su planificación hasta su cierre final. El primer requisito identificado es la necesidad de pasar de un modelo reactivo a uno planificado. La eficiencia de una intervención no se mide solo en la rapidez de la ejecución, sino en la calidad de su preparación. Para ello, el manual debe incluir:

Estandarización de Procedimientos: Todas las tareas de mantenimiento preventivo cíclicas deberán estar documentadas⁵. Estos documentos servirán como guía para el técnico, donde se detallan los pasos a seguir, las herramientas, los repuestos necesarios y, fundamentalmente, las medidas de seguridad específicas para cada equipo. Esto asegura que el conocimiento reside en el proceso y no únicamente en el individuo (Palmer, 2013).

Gestión Proactiva de Recursos: Se implementa una reunión mensual de planificación entre los responsables de Mantenimiento y Producción. El propósito de esta reunión es programar las paradas de máquina para las OTs de la semana siguiente, y, de manera crítica, verificar la disponibilidad de todos los recursos (repuestos, servicios externos, herramientas especiales) antes de confirmar la fecha de ejecución. Este requisito ataca directamente una de las mayores causas de ineficiencia: iniciar un trabajo que no puede ser completado por falta de medios (Sullivan et al., 2010).

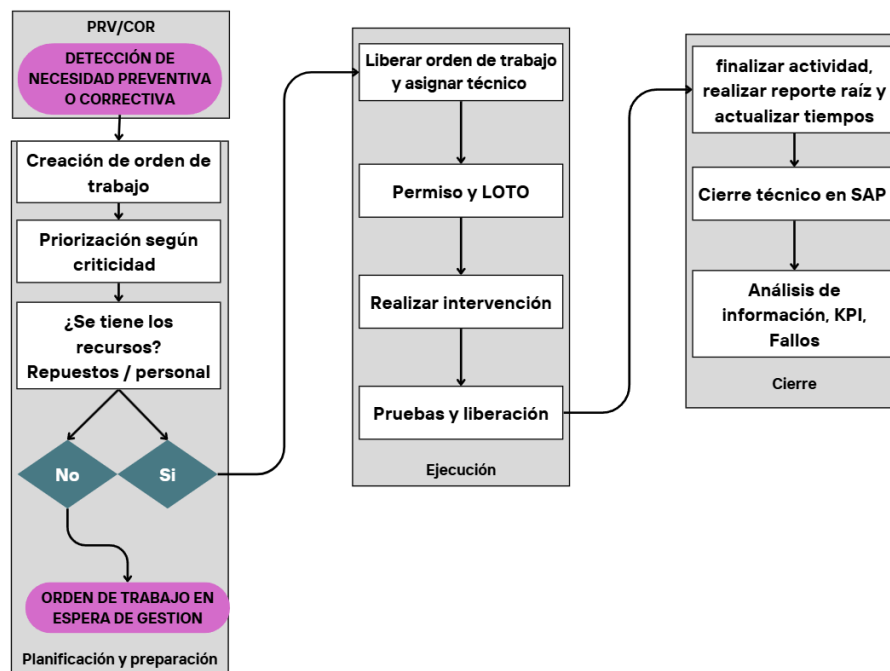
⁵ Lista detallada de todas las tareas programadas que se deben ejecutar en un equipo, sistema o instalación para asegurar su funcionamiento correcto y prevenir fallos

El final de una intervención no es cuando la herramienta se guarda, sino cuando la información se registra. Este requisito es el puente entre la operación diaria y la mejora continua. El manual define que una Orden de Trabajo no puede ser cerrada administrativamente hasta que el técnico ejecutor haya completado el Reporte de Intervención en el sistema (García Garrido, 2010).

En la figura 13 se expone el flujo para el tratamiento de una orden de trabajo para el proceso ACT, cuya entrada proviene del proceso PRV y COR. El flujo inicia con la priorización de actividades, actividad que se realiza en los procesos PRV y COR, luego se prepara la información y suministros necesarios para la ejecución de la actividad, después se procede con la ejecución y por último el cierre.

Figura 13

Tratamiento de una Orden de Trabajo (OT)



Nota: Se presenta el flujo de una orden de trabajo de mantenimiento dentro del proceso ACT, cuya entrada son los procesos PRV y COR. Inicia con la priorización y preparación de la tarea, continúa con la organización, programación e inicio, y culmina con la ejecución y el cierre, para luego devolver el activo al usuario. Adaptado de (Ebeling, 2019).

Proceso IMP: Mejora de elementos

El proceso IMP se enfoca en modificar un activo para mejorar su fiabilidad o rendimiento de forma permanente. La necesidad de mejora se justifica a través de DTA (Datos) y OPT (Optimización), que demuestran la viabilidad técnica y económica del cambio. Su ejecución depende de BUD (Presupuesto) para la asignación de fondos (a menudo una inversión) y de MRQ (Requisitos de Diseño) para gestionar la ingeniería y especificaciones de la modificación (Rey Sacristan, 1996).

IMP se estructura en diez subprocesos secuenciales (Tabla 7) y utiliza como entradas principales los objetivos de MAN, mejoras requeridas identificadas, datos procesados, presupuestos aprobados y procedimientos del fabricante, mientras genera como salidas los elementos mejorados con mejor confiabilidad y mantenibilidad, planes de mantenimiento iniciales adaptados, soporte logístico definido, requisitos de formación y notificaciones de conformidad, para constituir la vía estratégica para incrementar el valor de los activos mediante intervenciones que transforman sus características fundamentales y optimizan su desempeño a largo plazo (Hansen K. B., 2023).

Tabla 7*Entradas y salidas del proceso IMP*

Actividad Clave	Descripción	Entradas Principales	Salidas Principales
IMP1 - Análisis de malos actores	Identificación de equipos con desempeño subestándar mediante minería de datos históricos.	Historial de Fallos y Costos (Salida de ACT.7).	Listado de Oportunidades de Mejora.
IMP2 - Ingeniería de Fiabilidad	Definición de requisitos técnicos para eliminar defectos crónicos o mejorar la mantenibilidad.	Listado de Oportunidades de Mejora.	Requisitos Técnicos Definidos.
IMP3 - Especificación de la Solución	Diseño técnico de la mejora y establecimiento de criterios de aceptación.	Requisitos Técnicos Definidos.	Especificaciones y Planos de Mejora.
IMP4 - Gestión de Proveedores / Licitación	Proceso de adquisición de tecnología o servicios especializados para la mejora.	Especificaciones y Planos de Mejora.	Ofertas Técnicas Recibidas.
IMP5 - Análisis de Costo de Ciclo de Vida (LCC)	Evaluación financiera para seleccionar la opción que optimice el valor del activo a largo plazo.	Ofertas Técnicas Recibidas.	Solución Seleccionada y Aprobada.
IMP6 - Ejecución de la Gestión del Cambio (MoC)	Implementación física de la mejora controlando riesgos asociados al cambio.	Solución Seleccionada y Aprobada.	Mejora Implementada Física.
IMP7 - Validación y Comisionamiento	Verificación técnica de que la mejora cumple los objetivos de desempeño esperados.	Mejora Implementada Física.	Mejora Validada y Conforme.
IMP8 - Actualización del Plan de Mantenimiento	Ajuste de las estrategias preventivas acorde a la nueva realidad técnica del equipo.	Mejora Validada y Conforme.	Plan de Mantenimiento Actualizado.
IMP9 - Soporte Logístico Integrado	Redefinición de repuestos y herramientas requeridas para el activo modificado.	Plan de Mantenimiento Actualizado.	Stock de Repuestos Ajustado.
IMP10 - Gestión de Competencias	Capacitación del personal en la operación y mantenimiento de la nueva tecnología.	Stock de Repuestos Ajustado (y cambios técnicos).	Personal Capacitado en la Mejora.

Nota. La tabla hace referencia a la norma une en 17007 y escribe el flujo para transformar datos históricos de fallos y malos actores en proyectos de ingeniería de fiabilidad y gestión del cambio que incrementan el valor del activo a largo plazo. Adaptado (Gulati, 2020).

Dentro de los procesos de soporte definidos por la norma, el proceso SER (Proveer servicios de mantenimiento externos) adquiere una relevancia estratégica, especialmente en un modelo de gestión que, como el actual, depende de terceros para ciertas tareas. La norma establece que la externalización de servicios no debe ser una simple subcontratación, sino un proceso controlado que garantice que las actividades realizadas por contratistas cumplan con los mismos estándares de calidad, seguridad y eficiencia que las operaciones internas (Valdez et al., 2022).

La subcontratación en el mantenimiento configura una herramienta estratégica para la flexibilidad operativa. La incorporación de proveedores externos exige criterios técnicos sobre la calidad, la ingeniería y el talento humano, con prioridad sobre el costo. Este proceso precisa un sistema de selección y monitoreo riguroso para el aporte de valor agregado a la organización (Mora Gutiérrez, 2009).

Se define el alcance y acuerdos de nivel de servicio (SLA) los cuales deben estar respaldados por un contrato o una orden de compra que defina el alcance del trabajo, las responsabilidades de cada parte, los entregables, y los plazos; adicional se debe definir la coordinación y supervisión con los contratistas, esto incluye los protocolos de seguridad en planta (inducción, permisos de trabajo), la coordinación con el área de producción para minimizar el impacto operativo, la supervisión de los trabajos en campo y la validación final del servicio prestado antes de su aceptación (Valdez et al., 2022).

Conclusión del objetivo 1

Este capítulo recopila todos los requisitos necesarios para un proceso de mantenimiento estructurado el cual permita indicar claramente las actividades que se llevan a cabo con un nivel de detalle relevante, también menciona las entradas y salidas de cada subproceso y define indicadores para medir la realización de cada proceso y monitorizar su eficacia (Kelly A. , 2006).

El objetivo uno presenta las metodologías requeridas para cada proceso, el cual hace uso de normas externas, libros y recomendaciones de expertos para la implementación de cada proceso. Como ejemplo se tiene la implementación de RCM para el proceso PRV, una matriz de priorización de mantenimientos correctivos para el proceso COR a través de un análisis FTA y para el proceso ACT se sugiere usar un modelo de gestión de ordenes de trabajo (Palmer, 2013).

Con base en el objetivo uno, se hace uso de los 4 procesos principales PRV, COR, ACT e IMP para diseñar un formato de diagnóstico y entrevistas para medir la brecha actual respecto a la norma. Adicionalmente, se hace un formato de diagnóstico sobre los KPI requeridos por la norma y los que actualmente se miden en el área de mantenimiento de la empresa Grundfos (Wireman, 2005).

Los requisitos normativos, metodologías y procesos identificados en este objetivo son parte del marco de referencia que se utiliza el Objetivo 2 para evaluar el estado actual de la gestión de mantenimiento en Grundfos. Específicamente, evalúa la presencia o ausencia metodologías estructuradas como RCM para el proceso PRV, herramientas de diagnóstico como FTA para el proceso COR, sistemas de gestión de órdenes de trabajo para el proceso ACT, procesos formales de mejora continua (IMP) e indicadores de desempeño alineados con cada proceso (Macchi & Fumagalli, 2013).

Objetivo 2 – Estado actual

Describir el estado actual de la gestión de mantenimiento en Grundfos mediante un diagnóstico y entrevistas con personal clave, para identificar las brechas actuales respecto a la norma UNE EN 17007:2018 y la UNE EN 16646:2014

Para lograr la excelencia operacional, es fundamental contar con una herramienta que permita realizar una evaluación objetiva, completa y replicable del sistema de gestión de mantenimiento, comparándolo con estándares reconocidos internacionalmente. Este diagnóstico es el punto de partida esencial para cualquier iniciativa de transformación o mejora del mantenimiento, ya que muestra la situación actual (AS-IS) que sirve como línea base para establecer el estado deseado (TO-BE) y diseñar la hoja de ruta que permita cerrar las brechas identificadas (Parra & Crespo, 2012).

Los formatos han sido desarrollados con base en dos normas europeas de gestión de mantenimiento: la UNE EN 17007:2018 - Proceso de mantenimiento e indicadores asociados y la UNE EN 16646:2014 - Mantenimiento en la gestión de los activos físicos. La primera norma proporciona una descomposición detallada y estructurada de todos los procesos que conforman el sistema de mantenimiento, organizándolos en tres familias principales: procesos de gestión, procesos de realización y procesos de soporte.

Por su parte, la UNE EN 16646 complementa esta visión operativa con un enfoque estratégico de gestión de activos físicos al incorporar conceptos como la jerarquía de activos (cartera, sistemas y activos individuales), el análisis del ciclo de vida completo, y la integración del mantenimiento con otros procesos organizacionales como la adquisición, operación, modernización y retirada de activos. Esta combinación permite una visión holística y completa que abarca tanto los aspectos tácticos-operativos como los estratégicos de la gestión de mantenimiento (Galar Pascual & Kumar, 2016).

Los formatos están estructurados en siete secciones principales que cubren todos los aspectos relevantes de la gestión de mantenimiento. La Parte 1 recopila información básica del entrevistado. La Parte 2 es el núcleo del diagnóstico donde se evalúa: (A) la gestión estratégica del mantenimiento (política, estrategia, organización y presupuesto); (B) los procesos de realización según UNE EN 17007; (C) los procesos de soporte y (D) la gestión de activos físicos según UNE EN 16646 (González Fernández, 2004).



Formato Entrevista
Mantenimiento

Figura 14**Formato Diagnóstico Mantenimiento**

Formato de Diagnóstico y Entrevista - Gestión de Mantenimiento Grundfos					
Este instrumento está diseñado para evaluar el estado actual de la gestión de mantenimiento en Grundfos según las normas UNE EN 17007:2018 (Proceso de mantenimiento e indicadores) y UNE EN 16646:2014 (Mantenimiento dentro de la gestión de activos físicos).					
Parte 1: Información del entrevistado					
Campo	Información				
	Nombre: _____				
	Cargo/Posición: _____				
	Area/Departamento: _____				
	Años en la organización: _____				
	Años en el cargo actual: _____				
	Fecha de entrevista: _____				
	Entrevistador: _____				
PARTE 2: DIAGNOSTICO POR PROCESO					
Sección A: Proceso de gestión (MAN)					
Referencia: UNE EN 17007 - Proceso MAN / UNE EN 16646 - Cap. 5					
A.1 Política y Estrategia de Mantenimiento					
Elemento a Evaluar	Existe	Documentado	Actualizado	Comunicado	Observaciones
Política de mantenimiento formal	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	_____
Estrategia de mantenimiento definida	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	_____
Objetivos operacionales de mantenimiento	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	_____
Factores clave de éxito identificados	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	_____
Nivel de Madurez	☐ Inexistente ☐ Inicial		☐ Definido	☐ Gestionado	☐ Optimizado
A.2 Organización y Responsabilidades					
Elemento a Evaluar	Existe	Documentado	Actualizado	Observaciones	
Organigrama de mantenimiento	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	_____	
Perfiles de trabajo definidos	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	_____	
Responsabilidades asignadas claramente	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	_____	
Definición actividades internas vs externas	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	_____	
Nivel de Madurez	☐ Inexistente ☐ Inicial		☐ Definido	☐ Gestionado	☐ Optimizado
A.3 Presupuesto de Mantenimiento					
Elemento a Evaluar	Existe	Documentado	Observaciones		
Presupuesto anual de mantenimiento	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	_____		
Presupuesto plurianual	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	_____		
Separación: preventivo/correctivo/mejoras	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	_____		
Seguimiento de desviaciones	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	_____		
Análisis de costes por equipo/instalación	☐ Sí ☐ No	☐ Sí ☐ No	_____		
Nivel de Madurez	☐ Inexistente ☐ Inicial		☐ Definido	☐ Gestionado	☐ Optimizado

Nota: Imagen de una parte del formato de diagnóstico que contiene 132 preguntas tanto de la norma UNE EN 17007 y sus 3 procesos como de la UNE EN 16646 sobre la gestión de activos en sus capítulos 4, 5 y 6. Adaptado de (Parra & Crespo, 2012).

Las Partes 3 a 7 consolidan los resultados mediante un análisis de brechas con cuantificación y priorización; una matriz de priorización impacto-facilidad; recomendaciones específicas con hoja de ruta por fases y un checklist final de cumplimiento normativo que evalúa la adherencia a ambas normas europeas.

La aplicación del formato requiere un enfoque metodológico que combine entrevistas estructuradas con personal clave, revisión de documentación existente y observación directa de las prácticas actuales. La entrevista se realiza al grupo de mantenimiento (Macchi & Fumagalli, 2013).

El formato en la figura 15 a continuación está diseñado para evaluar el estado actual de los indicadores clave de desempeño (KPIs) en la gestión del mantenimiento. A través de 50 preguntas, permite verificar si los indicadores se calculan, su frecuencia y observaciones relevantes. El objetivo es identificar brechas en la medición, asegurar la alineación con estándares internacionales y proporcionar una base sólida para la mejora continua (González Fernández, 2004).

Figura 15

Diagnóstico de KPIs

INDICADORES DE DESEMPEÑO (KPIs)			
Referencia: UNE EN 17007 - Apartados específicos de cada proceso / UNE EN 16646 - Cap. 7			
E.1 Indicadores Implementados Actualmente			
E.1.1 Indicadores Generales de Mantenimiento			
Indicador	Se Calcula	Frecuencia	Observaciones
Coste total de mantenimiento anual	☐ Sí ☐ No		
Coste mantenimiento correctivo	☐ Sí ☐ No		
Coste mantenimiento preventivo	☐ Sí ☐ No		
Coste mantenimiento / Valor activos	☐ Sí ☐ No		
Horas hombre mantenimiento	☐ Sí ☐ No		
Coste mano de obra / Coste total	☐ Sí ☐ No		
Coste repuestos / Coste total	☐ Sí ☐ No		
Coste subcontratación / Coste total	☐ Sí ☐ No		
E.1.2 Indicadores de Disponibilidad y Fiabilidad			
Indicador	Se Calcula	Frecuencia	Observaciones
Disponibilidad global	☐ Sí ☐ No		
Tiempo medio entre fallos (MTBF)	☐ Sí ☐ No		
Tiempo medio de reparación (MTTR)	☐ Sí ☐ No		
Tasa de fallos	☐ Sí ☐ No		
Tiempo de indisponibilidad por mantenimiento	☐ Sí ☐ No		
OEE (Overall Equipment Effectiveness)	☐ Sí ☐ No		
Paradas no programadas	☐ Sí ☐ No		

Nota: Formato de diagnóstico de KPIs con 50 preguntas sobre los indicadores actuales para la gestión del mantenimiento. Adaptado de (Villacres et al., 2020).

Figura 16**Formato de entrevista mantenimiento**

Formato de Diagnóstico y Entrevista - Gestión de Mantenimiento Grundfos	
Este instrumento está diseñado para evaluar el estado actual de la gestión de mantenimiento en Grundfos según las normas UNE EN 17007:2018 (Proceso de mantenimiento e indicadores) y UNE EN 16646:2014 (Mantenimiento dentro de la gestión de activos físicos).	
Parte 1: Información del entrevistado	
Campo	Información
	Nombre: _____
	Cargo/Posición: _____
	Area/Departamento: _____
	Años en la organización: _____
	Años en el cargo actual: _____
	Fecha de entrevista: _____
	Entrevistador: _____
PARTE 2: ENTREVISTA POR PROCESO	
Sección A: Proceso de gestión (MAN)	
Referencia: UNE EN 17007 - Proceso MAN / UNE EN 16646 - Cap. 5	
A.1 Política y Estrategia de Mantenimiento	
¿Cómo se alinea la estrategia de mantenimiento con los objetivos de negocio de Grundfos?	
¿Qué prioridades establece la política actual? (disponibilidad, costes, seguridad, medio ambiente)	
¿Con qué frecuencia se revisa y actualiza la estrategia de mantenimiento?	
¿Cómo se comunican los objetivos de mantenimiento a los diferentes niveles organizacionales?	
Nivel de Madurez	☐ Inexistente ☐ Inicial ☐ Definido ☐ Gestionado ☐ Optimizado
A.2 Organización y Responsabilidades	
¿Cómo está estructurada actualmente la función de mantenimiento en Grundfos?	
¿Existen responsabilidades solapadas o áreas sin asignar?	
¿Qué criterios se utilizan para decidir entre mantenimiento interno vs subcontratado?	
¿Cómo se coordina el mantenimiento entre diferentes niveles (cartera, sistemas, activos)?	
Nivel de Madurez	☐ Inexistente ☐ Inicial ☐ Definido ☐ Gestionado ☐ Optimizado
A.3 Presupuesto de Mantenimiento	
¿Cómo se elabora el presupuesto de mantenimiento actualmente?	

Nota: Formato de entrevista preguntas abiertas al personal de mantenimiento. Contiene 93 preguntas basadas en las mejores prácticas de mantenimiento. Adaptado de (Cárcel Carrasco, 2015).

Durante la aplicación del formato, cada elemento evaluado es calificado en términos de existencia, nivel de documentación, actualización y, en su caso, nivel de madurez según una escala de cinco niveles (inexistente, inicial, definido, gestionado y optimizado). Esta evaluación cuantitativa debe complementarse con observaciones cualitativas que capturen el contexto, las particularidades y los matices de cada situación (Villacres et al., 2020).

Figura 17

Formato para análisis de brechas

ANÁLISIS DE BRECHAS (GAP ANALYSIS)					
Instrucciones Para cada proceso/subproceso evaluado, complete el siguiente análisis:					
Proceso	Nivel Actual (0-5)	Nivel Objetivo (0-5)	Brecha	Prioridad (A/M/B)	Comentarios
MAN - Gestión					
PRV - Prevención					
COR - Correctivo					
ACT - Intervención					
IMP - Mejoras					
HSE - Seg. y Amb.					
BUD - Presupuesto					
DOC - Documentación					
DTA - Gestión Datos					
IST - Infraestructura					
MRQ - Requisitos Diseño					
OPT - Optimización					
RES - RRHH Internos					
SER - Servicios Externos					
SPP - Repuestos					
TOL - Herramientas					

Escala de Niveles:	
0 - Inexistente:	El proceso no existe o no se realiza
1 - Inicial:	El proceso existe pero es ad-hoc, no documentado
2 - Definido:	El proceso está documentado pero no se sigue consistentemente
3 - Gestionado:	El proceso se ejecuta de forma consistente y se monitorea
4 - Medido:	El proceso se mide cuantitativamente y se controla
5 - Optimizado:	El proceso se mejora continuamente basado en datos

Nota: Este formato permite medir el estado actual y el estado al cual se quiere llegar mediante la cuantificación de las brechas, la prioridad y sirve como insumo para la generación de planes de mejora.

Adaptado de (Sullivan et al., 2010).

Es importante mantener una actitud objetiva y basada en evidencias, sin juicios prematuros o sesgos. El formato debe completarse de manera progresiva, se debe consolidar la información obtenida en múltiples entrevistas y triangular con la documentación revisada y las observaciones realizadas. Se recomienda validar los hallazgos preliminares con los entrevistados antes de finalizar el diagnóstico, para asegurar que la interpretación de la información sea correcta y que no se hayan omitido aspectos relevantes (Galar Pascual & Kumar, 2016).

A continuación, se presenta la Tabla 8, la cual contiene la ficha técnica del instrumento de diagnóstico empleado. En este cuadro se resumen las especificaciones del levantamiento de la información, y menciona los 275 ítems evaluados entre requisitos normativos, medición de indicadores clave y la incorporación de mejores prácticas de mantenimiento.

Tabla 8

Ficha técnica de la entrevista

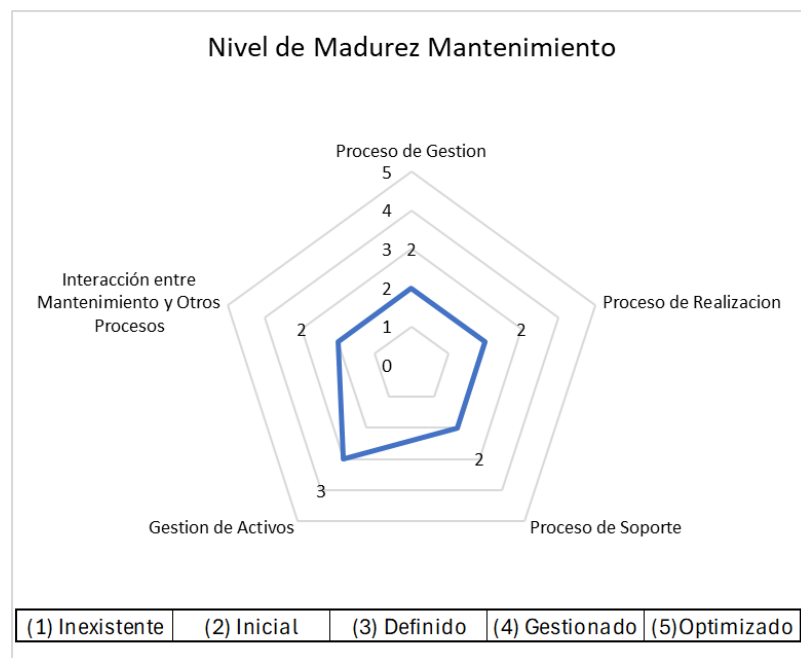
Componente	Descripción Técnica
Objetivo General	Evaluar el estado actual de la gestión de activos y mantenimiento frente a estándares internacionales y mejores prácticas.
Población	1 Ingeniero de mantenimiento / 1 Técnico senior de mantenimiento
Estructura del Instrumento	Total de reactivos: 275 ítems, desglosados en tres módulos específicos:
Módulo 1: Cumplimiento Normativo	132 preguntas basadas en los procesos de la norma UNE-EN 17007:2018 y los requisitos de la UNE-EN 16646:2014.
Módulo 2: Medición del Desempeño	50 preguntas enfocadas en la disponibilidad, cálculo y gestión de indicadores clave (KPIs).
Módulo 3: Mejores Prácticas	93 preguntas abiertas basadas en marcos de referencia de excelencia en mantenimiento (Cárcel Carrasco, 2015).
Técnica de Aplicación	Entrevista semiestructurada y auditoría de campo con verificación en sistema SAP PM.
Validación de Resultados	Triangulación de datos: Contraste entre el discurso del personal, evidencia documental y observación directa.

Nota: La tabla resume los datos técnicos de la entrevista y muestra cómo se dividieron las 275 preguntas entre normas, indicadores (KPIs) y mejores prácticas.

A continuación, se presenta el grafico el cual muestra el resultado del diagnóstico inicial de mantenimiento. El criterio de evaluación de la madurez se califica como inexistente, inicial, definido, gestionado y optimizado y se califica de 1 a 5 de acuerdo con el criterio del evaluador y del formato.

Figura 18

Resultado nivel de madurez de mantenimiento



Nota: En la gráfica de radar se muestra el resultado para cada uno de los procesos propuestos por la norma UNE EN 17007. Se aprecia un resultado de madurez de mantenimiento Inicial. Adaptado de (Oost, 2024)

Adicionalmente, se presenta la tabla resumen con los criterios evaluados y los subcriterios

Tabla 9

Diagnostico requisitos norma UNE EN 17007 y 16646

Requisito		☐ Inexistente	☐ Inicial	☐ Definido	☐ Gestionado	☐ Optimizado
Proceso de Gestion	A.1 Política y Estrategia de Mantenimiento		2			
	A.2 Organización y Responsabilidades		2			
	A.3 Presupuesto de Mantenimiento		2			
Proceso de Realizacion	B.1 Proceso PRV: Prevenir Sucesos No Deseados		2			
	B.2 Proceso COR: Devolver Elementos al Estado Requerido	1				
	B.3 Proceso ACT: Intervenir sobre el Elemento	1				
	B.3.2 Programación y Planificación (ACT.3, ACT.4)			3		
	B.3.3 Ejecución de Tareas (ACT.5, ACT.6, ACT.7)		2			
	B.4 Proceso IMP: Mejorar los Elementos		2			
Proceso de Soporte	C.1 Proceso HSE: Salud, Seguridad y Medio Ambiente			3		
	C.2 Proceso BUD: Elaborar Presupuesto		2			
	C.3 Proceso DOC: Documentación Operativa			3		
	C.4 Proceso DTA: Gestión de Datos	1				
	C.5 Proceso IST: Infraestructura Necesaria			3		
	C.6 Proceso MRQ: Requisitos en Diseño y Modificación			3		
	C.7 Proceso OPT: Optimizar Resultados	1				
	C.8 Proceso RES: Recursos Humanos Internos		2			
	C.9 Proceso SER: Servicios Externos		2			
	C.10 Proceso SPP: Suministro de Repuestos		2			
	C.11 Proceso TOL: Herramientas y Equipos de Soporte		2			
Gestion de Activos	D.1 Jerarquía de Activos		2			
	D.2 Ciclo de Vida de los Activos				4	
	D.3 Contexto Organizativo y Factores de Influencia				4	
Interacción entre Mantenimiento y Otros Procesos	D.4.1 Mantenimiento y Adquisición/Creación	1				
	D.4.2 Mantenimiento y Operación		2			
	D.4.3 Mantenimiento y Modernización/Retirada				4	

Matriz de evaluación del nivel de madurez de la gestión del mantenimiento, basada en la estructura de procesos de la norma UNE-EN 16646 y evaluada bajo una escala de Likert de 5 niveles (desde Inexistente hasta Optimizado), según la metodología propuesta por (Crespo Marques, 2007) .



Entrevista
Mantenimiento

Conclusión del objetivo 2.

Tras recopilar la información de diagnóstico y las entrevistas, se encuentra que el nivel de madurez de la empresa es inicial en gestión de mantenimiento. Esto significa que, aunque existen un proceso de mantenimiento, este opera de forma reactiva y no planificada. Las actividades se realizan de manera informal, sin procedimientos estandarizados ni documentación adecuada.

En este nivel, el conocimiento y las prácticas dependen casi exclusivamente de las personas, basándose en experiencia individual más que en sistemas establecidos. Esto genera resultados impredecibles e inconsistentes, ya que no se cuenta con métodos formales para abordar las necesidades de mantenimiento (Wireman, 2004)

La operación actual se caracteriza por un mantenimiento altamente correctivo, al actuar cuando los problemas surgen en lugar de anticiparlos o prevenirlos. Esta situación representa una oportunidad significativa de mejora, ya que avanzar hacia niveles superiores de madurez nos permite desarrollar procesos más eficientes, predecibles y orientados a la prevención. (Blanchard, 2014)

Las brechas identificadas determinan la necesidad de una estructura de manual que aborde sistemáticamente estos vacíos, lo cual se presenta en el Objetivo 3

Objetivo 3 – Estructura

Mostrar la estructura del manual de mantenimiento para la gestión de activos, con base en los 4 procesos definidos por la norma UNE EN 17007:2018, PRV, COR, ACT e IMP adaptados a las características técnicas y organizativas de la línea de ensamble.

La selección de la estructura para el presente manual busca crear un sistema que conecte el marco estratégico con la ejecución operativa. Como base, se utiliza el marco conceptual de la norma UNE EN 17007, que descompone la función de mantenimiento en procesos clave interrelacionados. Esta base normativa garantiza la alineación con las mejores prácticas internacionales y ofrece un lenguaje común para la gestión de activos al enfocar cada capítulo en un objetivo estratégico claro, desde la proactividad hasta la optimización del ciclo de vida del equipo (Viveros et al., 2013).

Para abarcar todas las actividades actuales del área de mantenimiento sobre la línea de producción, se propone la siguiente estructura que consta de 6 capítulos más uno de anexos donde es posible encontrar la información necesaria para describir las actividades requeridas para mantener los activos en las condiciones requeridas para alcanzar los objetivos de producción que la compañía requiere (Crespo Marques, 2007).

A continuación, se describe cada capítulo.

Capítulo 1: Introducción al Manual de Mantenimiento

Este capítulo establece las bases del manual, donde se define el propósito y los activos específicos que cubre dentro de la línea de ensamblaje. Se presentan los objetivos clave, como la estandarización de procesos y la optimización de la confiabilidad donde se alinean las actividades de mantenimiento con la política general de la empresa. Además, clarifica la organización del departamento al detallar los roles y responsabilidades de cada miembro del equipo para asegurar una estructura de trabajo coherente y bien definida (Parra & Crespo, 2012).

Capítulo 2: Gestión del Mantenimiento (Proceso MAN)

Este apartado se centra en los aspectos estratégicos y de gobernanza del mantenimiento. Detalla cómo se realiza la planificación de alto nivel, la elaboración y el control del presupuesto para asegurar el uso eficiente de los recursos. También establece los procedimientos para la gestión de la información y la documentación técnica, donde se sugiere en el uso del SAP como sistema de información. Finalmente, define los Indicadores Clave de Desempeño (KPIs) que permitirán medir la efectividad de todas las operaciones de mantenimiento (Mishra et al., 2015) (García Garrido, 2010).

La gestión efectiva de la información de mantenimiento en SAP requiere de la existencia de una estructura de identificación única de equipos. El diagnóstico evidencia la ausencia de taxonomía estandarizada, problema que debe resolverse mediante la adopción de una jerarquía de 3 o 4 niveles: planta, línea, estación y/o equipo individual. Esta estructura debe implementarse en SAP mediante ubicaciones técnicas que permitan agregación de datos para reportes y trazabilidad para diagnósticos (Chávez Duran, 2022).

Capítulo 3: Mantenimiento Preventivo (Proceso PRV)

El enfoque de este capítulo es la proactividad para evitar fallos antes de que ocurran. Introduce el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) como la metodología principal para analizar y priorizar los modos de fallo de los equipos más críticos. Con base en este análisis, se desarrollan planes de mantenimiento estructurados que incluyen las tareas, frecuencias y responsabilidades. Se complementa con instructivos detallados para garantizar que cada intervención preventiva se ejecute de forma estandarizada y segura (Moubray, 1997).

Capítulo 4: Mantenimiento Correctivo (Proceso COR)

Este capítulo aborda la gestión de las averías una vez que han ocurrido, el cual busca restaurar la operatividad de los equipos de manera eficiente. Establece un sistema claro para notificar fallos y utiliza una matriz de priorización para clasificarlos según su impacto en la producción y la seguridad. Para el diagnóstico, se implementa el Análisis de Árbol de Fallos (FTA) como herramienta para identificar la causa raíz de los problemas para evitar su recurrencia y permitir un aprendizaje continuo a partir de cada incidencia (Rausand, 2004).

Capítulo 5: Ejecución de las Tareas de Mantenimiento (Proceso ACT)

Aquí se detalla el flujo operativo de cualquier intervención, ya sea preventiva o correctiva, a través del ciclo de vida de la Orden de Trabajo (OT). Este proceso unificado asegura una correcta planificación, programación y asignación de recursos e incluye personal y repuestos. Se enfatizan los protocolos de seguridad, como los permisos de trabajo y el procedimiento LOTO. El capítulo concluye con la importancia del cierre adecuado de la OT al asegurar que toda la información relevante se registre para el análisis futuro (Palmer, 2013).

Capítulo 6: Mejora Continua del Mantenimiento (Proceso IMP)

Este último capítulo se dedica a transformar el mantenimiento de una función reactiva a una estratégica que agrega valor a largo plazo. Describe el proceso para identificar oportunidades de mejora a partir del análisis de datos de fallos recurrentes y costos. Se establecen los criterios para evaluar la viabilidad técnica y económica de las modificaciones propuestas en los activos. Así, se asegura que la organización evolucione constantemente para mejorar la fiabilidad y el rendimiento de sus equipos de forma permanente (Gulati, 2020).

Capítulo 7: Procesos de Soporte al Mantenimiento

Este capítulo es crucial, ya que describe las actividades y recursos que sustentan toda la operativa de mantenimiento. Sin un soporte robusto, la planificación y ejecución de tareas fallarían. La norma Se detalla cómo la gestión de repuestos, la seguridad del personal, la disponibilidad de herramientas y la correcta administración de la documentación técnica son los pilares que garantizan la eficiencia, seguridad y calidad de cada intervención realizada en la planta (Souris, 1992).

Anexos

La sección de anexos funciona como una caja de herramientas práctica para el personal de mantenimiento. Contiene todos los formatos y plantillas estandarizadas mencionadas en el manual, como las órdenes de trabajo y las plantillas para análisis RCM y FTA. También incluye un glosario para unificar la terminología técnica y un listado de los equipos considerados críticos para facilitar la consulta rápida y la aplicación consistente de los procedimientos establecidos en los capítulos anteriores (Dhillon, 2002).

A continuación, se presenta la estructura del manual

Figura 19

Estructura del Manual de Mantenimiento



Nota. Representación gráfica de la estructura propuesta para el Manual de Mantenimiento. El diagrama desglosa el contenido en siete capítulos principales para alinear cada sección con los procesos de gestión (MAN), realización (PRV, COR, ACT, IMP) y soporte del mantenimiento. Adaptado de (Mishra et al., 2015) y (Viveros et al., 2013).

Conclusión del objetivo 3

La arquitectura propuesta, organizada en siete capítulos, sigue una secuencia lógica que va desde la introducción y la gestión estratégica hasta los procesos de realización, mejora continua y, finalmente, los procesos de soporte que sustentan toda la operación.

Esta estructura se fundamenta directamente en el mapa de procesos de la norma UNE EN 17007:201 al adaptar sus requisitos con contexto operativo específico de la línea de ensamblaje en Grundfos. Al asignar capítulos específicos a los procesos PRV, COR, ACT e IMP, se asegura que el manual aborde de manera integral tanto las actividades proactivas como las correctivas para promover un enfoque equilibrado y estandarizado (Cárcel Carrasco, 2015).

El principal valor de esta estructura es que funciona como el contenido del sistema de gestión propuesto. Provee una hoja de ruta clara que transforma los conceptos teóricos de la gestión de activos en un marco de trabajo tangible y organizado. Con esta base, se establece el pilar fundamental sobre el cual se desarrollan los procedimientos, formatos e indicadores específicos en la siguiente fase del proyecto y garantizar que el manual final sea completo, funcional y fácil de navegar para todo el personal involucrado (Adeniran et al., 2024).

Objetivo 4 – Procedimientos

Organizar los procedimientos específicos y los indicadores de gestión necesarios para la implementación del manual de mantenimiento.

El manual necesita contenido operativo para convertirse en una herramienta práctica. Un manual sin procedimientos claros y estandarizados puede ser ignorado y permite que las operaciones continúen basándose en la improvisación, la memoria individual o hábitos no documentados. Esta falta de estandarización es una fuente directa de variabilidad en los resultados, inconsistencia en la calidad de las reparaciones y riesgos de seguridad (Hillman, 2008).

Los procedimientos son la base operativa del manual de mantenimiento, este traduce los requisitos normativos de la UNE-EN 17007:2018 en instrucciones específicas y ejecutables para el personal de Grundfos. Cada procedimiento está diseñado para asegurar la consistencia, trazabilidad y eficiencia de las actividades de mantenimiento para reducir la dependencia del conocimiento individual y construir un sistema de gestión sostenible (Adeniran et al., 2024).

La compañía tiene un formato para la creación de procedimientos que se debe seguir, los procedimientos deben contener un encabezado con el título y número del documento, el tipo de documento, autor, fecha y responsable. En el cuerpo se debe incluir el propósito, el alcance, las responsabilidades, la descripción de la actividad o flujo de trabajo, las definiciones, los anexos, las referencias y por último un control de cambios.

Los procedimientos que se detallan a continuación son la parte operativa del manual de mantenimiento. Cada procedimiento traduce los requisitos de los procesos de realización definidos en la norma UNE-EN 17007 (PRV, COR, ACT e IMP) en instrucciones ejecutables para el personal de Grundfos. Esta estructura garantiza que la operación diaria no solo sea estandarizada y eficiente, sino que también esté en plena conformidad con las mejores prácticas para contribuir a los objetivos estratégicos de la gestión de activos físicos, en línea con los principios de la norma UNE-EN 16646 (Duffuaa et al., 2002).

El proceso PRV es fundamental para la transición hacia un modelo proactivo. Con base en las directrices de la sección 6.3 de la UNE-EN 17007, los siguientes procedimientos establecen un método sistemático para anticipar y mitigar fallos antes de que ocurran.

Tabla 10

Procedimientos del proceso PRV

Título del Procedimiento	Objetivo	Frecuencia de Uso	
Análisis de Criticidad de Equipos	Clasificar equipos según su impacto en producción, seguridad y costos	Anual / Al incorporar nuevos equipos	 Equipment Criticality Analysis
Ejecución de Análisis RCM	Identificar modos de fallo y definir estrategias de mantenimiento preventivo óptimas	Por equipo crítico / Cada 3 años	 Análisis RCM
Actualización de Planes de Mantenimiento	Revisar y ajustar frecuencias y tareas preventivas basándose en históricos	Semestral	 Maintenance Plan Updates
Gestión de Cambios en Planes de Mantenimiento	Controlar modificaciones a planes preventivos existentes	Según necesidad	 Change Management for M

Nota: La tabla 9 muestra los procedimientos requeridos para lograr el cumplimiento del proceso PRV según la norma ISO 17007. Adaptado de (Rey Sacristan, 1996).

Análisis de Criticidad de Equipos: Este procedimiento es la respuesta directa a la actividad PRV.1, específicamente al punto de priorizar los sucesos según sus efectos y su incidencia. Esto permite enfocar los recursos limitados en los activos que más importan, un principio clave de la gestión de activos.

Ejecución de Análisis RCM: Es la herramienta metodológica para cumplir tanto con PRV.1 (identificar modos de fallo) como con PRV.2 (determinar tareas factibles). La elección de RCM se alinea con la filosofía de la norma de basar las decisiones de mantenimiento en las consecuencias de los fallos (Palmer, 2013).

Actualización y Gestión de Cambios: Estos procedimientos se conectan con la necesidad de usar y actualizar planes de mantenimiento (PRV.2) y el principio de mejora continua. La norma es clara en que los planes no son estáticos; estos procedimientos aseguran que el sistema aprenda de la experiencia (Kelly & Harris, 1998).

Procedimientos para el proceso COR:

Una vez definidos los mecanismos proactivos, el manual debe estructurar la respuesta ante los fallos que inevitablemente ocurren. El proceso COR (Devolver los Elementos al Estado Requerido), detallado en la sección 6.4 de la UNE-EN 17007, no se enfoca en la simple reparación, sino en un diagnóstico estructurado que permita aprender de cada incidencia para evitar su recurrencia.

Tabla 11*Procedimientos del Proceso COR*

Título del Procedimiento	Objetivo	Frecuencia de Uso	
Generación y Clasificación de Avisos de Fallo	Registrar fallos en SAP y asignar prioridad (P1-P4)	Cada fallo detectado	 Corrective maintenance
Análisis de Causa Raíz mediante FTA (Fault Tree Analysis)	Diagnosticar la causa fundamental de fallos recurrentes o críticos	Para fallos P1 y P2 / Fallos repetitivos	 Root Cause Analysis FTA
Diagnóstico Rápido en Campo	Identificar preliminarmente la causa de fallo y recursos necesarios	Para fallos P3 y P4	 Rapid Field Diagnosis
Gestión de Fallos Repetitivos	Documentar y analizar patrones de fallo para implementar mejoras	Mensual (revisión)	 Maintenance processing in SAP
Documentación de Lecciones Aprendidas	Capturar conocimiento de fallos atendidos para prevención futura	Post-fallo crítico	 Leccion aprendida

Nota: La tabla 10 muestra los procedimientos requeridos para lograr el cumplimiento del proceso COR.

Adaptado de (Levitt, 2004) y (García Garrido, 2010).

Estos procedimientos transforman la gestión de averías en un proceso de análisis y mejora. La Generación y Clasificación de Avisos de Fallo implementa la actividad COR.1: Clasificar los sucesos acaecidos, a través de la matriz de priorización (P1-P4) para asegurar una respuesta coherente con el impacto del evento.

Para la actividad COR.2: Diagnosticar el estado del elemento, se adopta el Análisis de Causa Raíz mediante FTA (Fault Tree Analysis). Esta metodología es ideal para establecer la cadena causal que exige la norma y es fundamental para los fallos críticos o repetitivos. Los procedimientos de Diagnóstico Rápido, Gestión de Fallos Repetitivos y Documentación de Lecciones Aprendidas complementan el proceso para asegurar tanto una respuesta ágil para fallos menores como un ciclo de aprendizaje formal que alimenta la mejora continua del sistema (IEC, 2006) (Rausand, 2004).

Procedimientos para el proceso ACT:

Tanto las tareas preventivas (generadas en PRV) como las correctivas (originadas en COR) convergen en el proceso de ejecución física: el proceso ACT (Intervenir sobre el elemento). Este proceso, que abarca desde la clasificación hasta la finalización de las tareas es el núcleo de la operación diaria del mantenimiento. Los procedimientos de esta sección aseguran que cada intervención se realice de forma planificada, segura, eficiente y documentada (Sullivan et al., 2010) (Palmer, 2013).

Tabla 12*Procedimientos del Proceso ACT*

Título del Procedimiento	Objetivo	Frecuencia de Uso	
Creación y Gestión de Órdenes de Trabajo en SAP	Generar OTs con información completa y trazable	Cada intervención	 Maintenance processing in SAP
Planificación de Paradas de Mantenimiento	Coordinar ventanas de mantenimiento con producción	Semanal/Mensual	Por definir
Verificación de Disponibilidad de Recursos Pre-Intervención	Asegurar repuestos, herramientas y servicios antes de iniciar	Antes de cada OT programada	 Pre-Intervention Resource Availability
Preparación de Permisos de Trabajo y LOTO	Asegurar condiciones seguras para intervención	Cada intervención en equipos energizados	 Risk assessment for maintenance
Reporte de Intervención y Cierre de OT	Documentar actividades realizadas, repuestos consumidos y observaciones	Cada OT	 Maintenance processing in SAP
Gestión de Backlog de Mantenimiento	Priorizar y programar OTs pendientes	Semanal	 Maintenance Backlog Management

Nota: La tabla 11 muestra los procedimientos requeridos para lograr el cumplimiento del proceso ACT. Adaptado de (Palmer, 2013) y (Martin et al., 2011).

La correcta ejecución de las tareas es vital para la fiabilidad operacional. La Creación y Gestión de Órdenes de Trabajo (OT) en SAP es el instrumento central que garantiza la trazabilidad completa del ciclo de vida de una intervención. Los procedimientos de Planificación de Paradas y Verificación de Disponibilidad de Recursos materializan las actividades ACT.2 (Preparar las tareas) y ACT.3 (Programar las tareas), para atacar directamente una de las mayores fuentes de ineficiencia: iniciar trabajos sin los recursos necesarios (Palmer, 2013).

La Preparación de Permisos de Trabajo y LOTO asegura que cada intervención cumpla con los más altos estándares de seguridad y los requisitos de la norma ISO 45001:20018. Finalmente, el Reporte de Intervención y Cierre de OT es el procedimiento clave que cumple con la actividad ACT.7 (Finalizar las tareas). Este paso es crucial, ya que convierte la ejecución de una tarea en conocimiento para el sistema y brinda los datos históricos indispensables para la actualización de planes (PRV) y el análisis de fallos (COR) (Higgins et al., 2002).

Procedimientos para el proceso IMP:

Más allá de mantener y reparar, un sistema de gestión de mantenimiento maduro busca la optimización de los activos. El proceso IMP (Mejorar los Elementos), descrito en la sección 6.6 de la UNE-EN 17007, se enfoca en modificar un activo para mejorar su fiabilidad, mantenibilidad o rendimiento de forma permanente para agregar valor a largo plazo.

Tabla 13*Procedimientos del Proceso IMP*

Título del Procedimiento	Objetivo	Frecuencia de Uso	
Identificación de Oportunidades de Mejora	Detectar mejoras desde análisis RCM, RCA y datos históricos	Continua	 Maintenance Continuous improvement
Elaboración de Propuestas de Mejora	Documentar mejora con justificación técnica y económica	Por cada mejora identificada	 Propuestas de Mejora
Aprobación y Presupuestación de Mejoras	Obtener aprobación de inversión para proyectos de mejora	Por cada propuesta	Por definir
Actualización de Documentación Post-Mejora	Actualizar planos y planes de mantenimiento tras mejora	Post-implementación	Por definir

Nota: La tabla 12 muestra los procedimientos requeridos para lograr el cumplimiento del proceso IMP. Adaptado de (Cárcel Carrasco, 2015).

Estos procedimientos elevan la función de mantenimiento a un nivel estratégico. El procedimiento de Identificación de Oportunidades de Mejora se nutre de las salidas de los análisis RCM y RCA y formaliza la captura de ideas de mejora tal como lo establecen las actividades IMP.1 (Recopilar datos) e IMP.2 (Definir requisitos).

La Elaboración de propuestas de mejora y su aprobación y presupuestación aseguran que cada modificación se evalúe rigurosamente bajo una justificación técnica y económica. Este enfoque se alinea directamente con los principios de la UNE-EN 16646, que promueve una gestión de activos basada en el valor y el análisis del ciclo de vida. Por último, la Actualización de Documentación Post-Mejora garantiza que los cambios se integren formalmente en los planes de mantenimiento y la documentación técnica, donde se cierra el ciclo de mejora continua y se asegura la sostenibilidad del sistema (Wireman, 2005).

Indicadores clave de rendimiento

La medición sistemática del desempeño representa el pilar para la mejora continua. La norma (UNE EN 15341, 2020) menciona que, sin un sistema de indicadores, la gestión del mantenimiento opera a ciegas, sin capacidad para evaluar la efectividad de sus procesos ni para justificar su contribución al negocio. Por ello, este manual establece un sistema de Indicadores Clave de Desempeño (KPIs) diseñado no solo para medir, sino para gestionar, comunicar y mejorar (Liyanage & Kumar, 2003) .

La arquitectura de los indicadores se organiza en una jerarquía de tres niveles, tal como se muestra en la Figura 20 la cual responde a una lógica de gestión que conecta la operación diaria con la estrategia del negocio (Navarro et al., 1997).

Figura 20*Estructura de KPIs*

Nota: Estructura de KPI's sugeridos para el manual, los cuales cubren el nivel estratégico, táctico y operacional según la norma UNE EN 15341. Es posible agregar o quitar indicadores de acuerdo con las necesidades del negocio. Adaptado de (Wireman, 2005) y (Beltrán Jaramillo, 2005).

Este enfoque jerárquico asegura que los datos de la operación diaria se transformen en información táctica para la gestión del área y, finalmente, en información estratégica para la toma de decisiones a nivel de planta. Los indicadores operacionales miden la eficiencia del proceso ACT, los indicadores tácticos evalúan la efectividad de los procesos PRV y COR, y los indicadores estratégicos reflejan el desempeño global del proceso de gestión MAN (Hansen K. B., 2023).

Indicadores estratégicos (Nivel 1)

Los indicadores estratégicos tienen una revisión mensual y se reportan a la Dirección General. Estos reflejan el impacto directo de la gestión del mantenimiento en los objetivos clave del negocio: productividad, disponibilidad y costo y traducen el desempeño técnico en un lenguaje financiero y operativo que la dirección puede utilizar para la toma de decisiones y se presenta en la Tabla 14. Permiten evaluar si el mantenimiento funciona como un centro de costos o como un socio estratégico que agrega valor. (Crespo Marques, 2007).

Tabla 14*Indicadores estratégicos*

KPI	Fórmula	Meta	Unidad	Responsable	Fuente de Datos
OPR (Overall Performance Rate)	$OPR = \frac{t.\text{productivo}}{t.\text{disponible}} \times 100$	> 92%	%	Jefe de Planta	Sistema MES + SAP PM
Disponibilidad de Línea CR	$OPR = \frac{t.\text{disponible} - t.\text{parada mtto}}{t.\text{disponible}} \times 100$	> 95%	%	Jefe Mantenimiento	SAP PM
Costo Total de Mantenimiento	$CM = \text{Mano obra} + \text{Repuesto} + \text{servicios externos} + \text{overhead}$	Según presupuesto	SGD	Jefe Mantenimiento	SAP PM + Contabilidad

Nota: La tabla 14 muestra los indicadores tácticos propuestos como parte de la gestión de mantenimiento. Adaptado de (Wireman, 2005)

OPR / Tasa de Rendimiento Global: Este indicador es una métrica integral que evalúa el rendimiento general de los equipos en términos de disponibilidad, rendimiento y calidad. El OPR ofrece una perspectiva completa del desempeño de los equipos y ayuda a identificar oportunidades de mejora y optimización. Para calcularlo, se multiplica el tiempo productivo por 100 y se divide entre el tiempo disponible. Un OPR elevado indica una alta eficiencia en la producción (Martin et al., 2011).

$$OPR = \frac{\text{Tiempo productivo}}{\text{Tiempo disponible}} \times 100 \quad (1)$$

Disponibilidad: La disponibilidad es un indicador clave que mide la proporción de tiempo en que la línea de producción está operativa y disponible para producir. Su importancia radica en que una alta disponibilidad es fundamental para cumplir con los objetivos de producción y reducir costos asociados a tiempos de inactividad no planificados. Se calcula al dividir el tiempo que la máquina ha estado produciendo entre el tiempo total que podría haber estado produciendo (Mora Gutiérrez, 2009).

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo operativo.}}{\text{Tiempo disp.}} \times 100 \quad (2)$$

Costo Total de Mantenimiento: Este KPI representa la inversión total destinada a las actividades de mantenimiento, reparación y operaciones (MRO). Su seguimiento es crucial para la gestión presupuestaria y para evaluar la eficiencia económica del departamento de mantenimiento. El cálculo incluye la suma de los costos de mano de obra, repuestos, servicios externos y gastos generales (overhead). La gestión de este indicador permite optimizar el uso de recursos sin sacrificar la confiabilidad de los activos (Souris, 1992).

$$\begin{aligned} \text{Costo mantenimiento} \\ = \text{Mano de obra} + \text{Repuestos} + \text{Servicios externos} + \text{overhead} \end{aligned} \quad (3)$$

Indicadores tácticos (Nivel 2)

Los indicadores tácticos son gestionados semanalmente por el jefe de Mantenimiento. Su función es monitorear la salud y la efectividad de los procesos de fiabilidad y mantenibilidad. KPIs como el MTBF y el MTTR son vitales para diagnosticar la efectividad de las estrategias preventivas (proceso PRV) y la eficiencia de las reparaciones (proceso COR). Estos indicadores se presentan en la Tabla 15 y permiten al líder del área tomar acciones correctivas a mediano plazo, ajustar planes y asignar recursos de manera más efectiva para mejorar el desempeño global del departamento (García Garrido, 2010).

Tabla 15*Indicadores tácticos*

KPI	Fórmula	Meta	Unidad	Responsable
MTBF (Tiempo medio entre fallas)	Tiempo total operativo / Número de fallos	Tendencia creciente	horas	Ing. Mantenimiento
MTTR (Tiempo medio de reparación)	$\Sigma(\text{Tiempo de reparación}) /$ Número de reparaciones	< 2 horas	horas	Ing. Mantenimiento
Confiabilidad	$R(t) = e^{(-\lambda t)}$	85%	%	Ing. Mantenimiento
Disponibilidad por Equipo	$MTBF / (MTBF + MTTR) \times$ 100	> 95%	%	Ing. Mantenimiento
Tasa de Fallos Recurrentes	$(\text{Fallos repetidos en 6 meses} /$ $\text{Total fallos}) \times 100$	< 15%	%	Ing. Mantenimiento

Nota: La tabla 14 muestra los indicadores tácticos propuestos como parte de la gestión de mantenimiento. Adaptado de (Mora Gutiérrez, 2009) y (Higgins et al., 2002) .

MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas): Es un indicador que mide la fiabilidad de un equipo, representa el tiempo promedio que un activo funciona correctamente entre dos averías. Un MTBF elevado sugiere una alta confiabilidad del equipo. Su cálculo se obtiene al dividir el tiempo total operativo entre el número de fallos registrados en ese período. Este KPI es fundamental para evaluar la efectividad de las estrategias de mantenimiento preventivo. El tiempo de fallo por mantenimiento debe ser excluido del tiempo total operativo (Wireman, 2005).

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total operativo}}{\text{Numero de fallos}} \quad (4)$$

MTTR (Tiempo Medio de Reparación): Cuantifica la eficiencia con la que se restaura un activo a su estado operativo después de una avería. Este indicador es crucial para evaluar la eficacia del mantenimiento correctivo. Un MTTR bajo indica que el mantenimiento correctivo se realiza de manera eficiente, lo que puede reducir el tiempo de inactividad y mejorar la disponibilidad de los equipos. Se calcula al dividir el tiempo total de reparación entre el número de reparaciones efectuadas (Dhillon, 2002).

$$MTTR = \frac{\sum \text{Tiempo de reparacion}}{\text{Numero de reparaciones}} \quad (5)$$

La confiabilidad se refiere a la probabilidad de que un activo funcione sin fallas durante un período futuro específico. Una alta confiabilidad implica que los activos son más propensos a operar correctamente sin experimentar fallas, lo cual es fundamental para la planificación y la reducción de la incertidumbre operativa (Ebeling, 2019). Este indicador permite predecir el comportamiento futuro de los equipos y tomar decisiones proactivas. Para medirla, se debe calcular la Tasa de Fallas (λ), que es el inverso del MTBF ($\lambda = 1/\text{MTBF}$). Una vez obtenida, se aplica la función exponencial para un período de tiempo (t) específico (Mora Gutiérrez, 2009).

$$R(t) = e - \lambda t \quad (6)$$

Donde:

- $R(t)$: Confiabilidad en el tiempo
- e : Base logarítmica natural ≈ 2.718
- λ : Tasa de fallas del sistema
- t : Período de tiempo

Para industrias de manufactura, el benchmarking de valor objetivo es el siguiente:

Tabla 16

Benchmarking de disponibilidad por tipo de industria

Categoría	Manufactura Continua	Manufactura por Lotes
World Class	$\geq 95\%$	$\geq 85\%$
Competitivo	90% – 95%	75% – 85%
Promedio	85% – 90%	65% – 75%
Por debajo del promedio	$< 85\%$	$< 65\%$

Nota: Los valores de referencia para manufactura por lotes son menores que en procesos continuos debido a paradas programadas para cambios de producto, limpieza y ajustes, lo que reduce el tiempo efectivo de operación. Adaptado de Palmer (2013).

Disponibilidad por Equipo: Este indicador mide la probabilidad de que un equipo específico esté en condiciones de operar cuando se requiera. A diferencia de la disponibilidad general de la línea, este KPI se enfoca en activos individuales, lo que permite identificar equipos problemáticos y priorizar acciones de mejora. Se calcula con la misma fórmula que el MTBF y el MTTR, pero aplicada a un solo equipo, lo que ayuda a las organizaciones a evaluar el rendimiento de sus activos, identificar áreas de mejora y tomar decisiones informadas para optimizar la disponibilidad y la confiabilidad (Cárcel Carrasco, 2015).

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \quad (7)$$

Tasa de Fallos Recurrentes: Este indicador mide la proporción de fallos que se repiten en los mismos equipos en un período determinado. Es vital para identificar problemas crónicos y debilidades en el diseño, operación o mantenimiento de los activos. Un análisis de las fallas recurrentes permite identificar las causas raíz y desarrollar soluciones efectivas para evitar su repetición. La fórmula consiste en dividir el número de fallos repetidos en los últimos 6 meses entre el total de fallos y multiplicarlo por 100 (Beltrán Jaramillo, 2005).

$$Tasa\ de\ fallos\ recurrentes = \frac{Fallos\ repetidos\ en\ 6\ meses}{Total\ de\ fallos} \times 100 \quad (8)$$

Una tasa elevada, superior al objetivo del 15%, señala deficiencias críticas en el proceso de mantenimiento correctivo. Las causas comunes incluyen diagnósticos superficiales que no identifican la causa raíz, reparaciones provisionales que no resuelven el problema de fondo, uso de repuestos de calidad inferior, o falta de actualización de los procedimientos de mantenimiento preventivo basándose en los modos de fallo observados (Okes, 2019).

Indicadores operacionales (nivel 3).

Los indicadores operacionales son la base de la pirámide de gestión y se revisan de forma diaria o semanal y se presentan en la Tabla 17. Su enfoque está en la ejecución y el cumplimiento de las tareas planificadas, al medir la eficiencia del proceso ACT. KPIs como el Cumplimiento del Plan PM y la Efectividad del PM son herramientas de control del día a día que permiten al equipo de mantenimiento y a su supervisor inmediato identificar desviaciones y tomar acciones correctivas de inmediato. Son el pulso de la operación y el primer indicativo de la disciplina en la ejecución (Wireman, 2005).

Tabla 17*Indicadores operacionales*

KPI	Fórmula	Meta	Unidad	Frecuencia
% Cumplimiento Plan PM Semanal	(OTs PM ejecutadas / OTs PM planificadas semana) × 100	> 95%	%	Semanal
Efectividad del PM	[1 - (Fallos imprevistos / Fallos totales)] × 100	> 85%	%	Mensual
Tiempo Promedio de Ejecución PM	Promedio (Tiempo real PM)	Por definir	horas	Mensual

Nota: La tabla 15 muestra los indicadores operacionales propuestos como parte de la gestión de mantenimiento. Adaptado de (Palmer, 2013).

% Cumplimiento Plan PM Semanal: Este indicador evalúa la adherencia al programa de mantenimiento preventivo. Una alta tasa de cumplimiento es fundamental para asegurar que las tareas de prevención se ejecutan según lo planeado, lo que contribuye a evitar fallos inesperados y a prolongar la vida útil de los equipos. Se calcula al dividir el número de órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo ejecutadas entre el total de las planificadas en la semana, y se multiplica por 100 (Parra & Crespo, 2012).

$$\%cumplimiento\ PM\ semanal = \frac{OT\ ejecutadas}{OT\ Planeadas} \times 100 \quad (9)$$

Efectividad del PM: La efectividad del mantenimiento preventivo mide qué tan bien el programa de mantenimiento evita fallas. Un alto porcentaje de cumplimiento indica que el mantenimiento preventivo se realiza de manera efectiva y que los equipos son mantenidos de forma proactiva para prevenir averías. Este KPI se calcula al restar al 100% el porcentaje que representan los fallos imprevistos sobre el total de fallos (Wireman, 2005).

$$Efectividad PM = \left[1 - \frac{Fallos imprevistos}{Fallos totales} \right] \times 100 \quad (10)$$

Tiempo Promedio de Ejecución PM: Este indicador mide el tiempo promedio real que se invierte en ejecutar las tareas de mantenimiento preventivo. Permite comparar los tiempos reales con los estimados en la planificación para identificar oportunidades de mejora en la eficiencia de los procedimientos, la capacitación del personal o la disponibilidad de herramientas y repuestos. Su seguimiento continuo ayuda a optimizar la programación y a reducir el tiempo de inactividad planificado (Dhillon, 2002).

$$Tiempo promedio PM = \frac{\sum \text{Tiempo de ejecucion PM}}{\text{Numero de tareas PM}} \quad (11)$$

Conclusión del objetivo 4

El objetivo es la transformación de requisitos normativos en herramientas ejecutables a través de veinte procedimientos específicos y diez indicadores de desempeño. El sistema propuesto reduce la brecha entre la teoría y la práctica diaria en la planta.

La gestión del mantenimiento se articula a través de procedimientos para la planificación mensual y el control presupuestario. El mantenimiento preventivo y el correctivo disponen de protocolos que cubren todo el ciclo de vida, desde el análisis de criticidad y la generación de un aviso de falla hasta el análisis de la causa raíz. El sistema también incluye procesos para la gestión de activos, la mejora continua y el soporte para la gestión de servicios externos (Moubray, 1997) (Parra & Crespo, 2012)

La viabilidad del manual descansa sobre tres fundamentos. El primero es qué tan específico es, pues cada procedimiento define con claridad las tareas y responsabilidades. El segundo es la medición a través de diez indicadores de desempeño que se organizan en una jerarquía. Los indicadores operacionales informan a los tácticos y estos a los estratégicos, lo que facilita la toma de decisiones con base en evidencia. El tercer fundamento es la sostenibilidad, ya que el conocimiento reside en el proceso y no en individuos, lo que reduce la dependencia y asegura la continuidad (Martin et al., 2011).

La integración de procedimientos e indicadores genera un ciclo de mejora continua. Los indicadores de desempeño revelan oportunidades, las cuales alimentan un proceso formal de mejora. Las mejoras se institucionalizan con la actualización de los procedimientos. El resultado es un sistema de gestión que mejora la confiabilidad de los equipos, la mantenibilidad de los procesos y la optimización de los costos de mantenimiento, todo en contribución directa a los objetivos estratégicos de la organización (Higgins et al., 2002).

Objetivo 5 – Manual

Proponer el manual de mantenimiento a través de métricas de confiabilidad, mantenibilidad y costos de mantenimiento

El objetivo presenta la propuesta del manual de mantenimiento para la línea de ensamblaje de bombas centrífugas multietapa CR de Grundfos. Este documento integra los requisitos normativos identificados en el Objetivo 1, cierra las brechas de madurez detectadas en el Objetivo 2 y pone en práctica la estructura y procedimientos definidos en los objetivos previos.

El manual no es solo un compendio documental, sino una herramienta de gestión práctica diseñada para transformar los conceptos teóricos de la gestión de activos en acciones ejecutables, lo que permite la transición desde un modelo reactivo hacia uno proactivo, basado en evidencia y alineado con la estrategia de la organización (Parra & Crespo, 2012).

Tabla 18.

Enlace de acceso al manual de mantenimiento

Manual de Mantenimiento	 MANUAL MANTENIMIENTO
--------------------------------	--

Nota: en la tabla se presenta el enlace al manual de mantenimiento descrito en el desarrollo del objetivo 5

Características Principales del Manual

El manual propuesto se alinea estrictamente con la norma UNE-EN 17007:2018, dedicando los capítulos 3 a 6 a los procesos de realización (PRV, COR, ACT, IMP) y el capítulo 7 a los soportes. Sus características principales son:

- **Enfoque sistémico:** El manual no presenta procedimientos aislados, sino un sistema integrado donde los procesos se interconectan. Los datos generados en el proceso correctivo (COR) alimentan el análisis del preventivo (PRV), y ambos nutren el proceso de mejora continua (IMP), creando un ciclo de información (García Garrido, 2010).
- **Medición integral:** Se establece una jerarquía de indicadores (KPIs) en tres niveles —estratégico, táctico y operacional— descrita en el capítulo 2.5 del manual. Esta arquitectura garantiza que cada nivel de la organización, desde la alta dirección hasta el técnico ejecutor, disponga de la información relevante para la toma de decisiones (Wireman, 2005).
- **Gestión del conocimiento:** El documento formaliza el saber técnico que actualmente reside en las personas. Mediante instructivos detallados, se especifica no solo el qué hacer, sino el cómo hacerlo, asegurando la consistencia en la calidad de las intervenciones independientemente de quien las ejecute (Palmer, 2013).
- **Adaptabilidad:** Aunque provee estandarización, el sistema incorpora mecanismos de actualización dinámica. Los procesos de Lecciones Aprendidas y Gestión de Cambios aseguran que el manual evolucione a la par de la experiencia operativa y los cambios tecnológicos (Galar Pascual & Kumar, 2016).

Impacto Esperado en Métricas Clave

La implementación rigurosa del manual impacta directamente en las tres dimensiones críticas de la gestión de activos: confiabilidad, mantenibilidad y costos. A continuación, se detalla la proyección de mejora para cada dimensión.

Confiabilidad de los Equipos (MTBF)

La mejora en la confiabilidad se logra mediante la prevención sistemática que utiliza el análisis RCM, enriquecido con la metodología FMEA para la cuantificación de riesgos propuesta por (Stamatis, 2003), para identificar y priorizar modos de fallo críticos, asignándoles tareas preventivas costo-efectivas. La eliminación de causas raíz mediante la metodología FTA, ataca las deficiencias que generan fallos repetitivos (IEC, 2006). Se proyecta que la reducción en la tasa de fallos recurrentes menor al 15% incrementa el MTBF entre un 25% y 40%, estabilizando el OPR por encima del 92% (Ebeling, 2019).

Mantenibilidad de los Procesos (MTTR)

La mantenibilidad mejora a través de la estandarización y la planificación. Los procedimientos documentados del proceso ACT eliminan la variabilidad en la ejecución técnica. Adicionalmente, la verificación obligatoria de recursos antes de programar una Orden de Trabajo elimina los tiempos muertos por espera de materiales. Estas prácticas permiten establecer una meta agresiva pero alcanzable de un MTTR inferior a 2 horas para la línea CR (Palmer, 2013).

Optimización de Costos

El control financiero se logra al cambiar la reacción ante emergencias por la gestión proactiva. Cada fallo evitado mediante el programa preventivo elimina el costo directo de la reparación y, más importante aún, el lucro cesante por producción perdida, optimizando el ciclo de vida del activo (García Garrido, 2010).

Tabla 19

Resumen del impacto y proyección financiera

Indicador	Situación Actual (Estimada)	Meta con Manual (18- 24 meses)	Impacto Financiero / Operativo
Confiabilidad	Baja / Reactiva	85% (MTBF creciente)	Estabilidad en OPR >92%
Mantenibilidad	Variable	MTTR < 2 Horas	Reducción de tiempos muertos y horas extra
Costos	Sobrecostos frecuentes	Control presupuestal	Ahorro est. SGD 12,000 - 15,000 / año
ROI Estimado	N/A	Payback 12-18 meses	Inversión inicial recuperada por ahorros en paradas

Nota: Las metas de desempeño técnico (MTBF, MTTR) se establecen bajo los criterios del Modelo CMD de (Mora Gutiérrez, 2009), asumiendo una mejora en la mantenibilidad por estandarización de tareas según (Palmer, 2013). La proyección del retorno de inversión (ROI) y el control de costos siguen los parámetros de rentabilidad para la implementación de sistemas de gestión de mantenimiento definidos por (Wireman, 2005).

Ruta de Implementación Sugerida

Reconociendo las limitaciones de recursos del equipo actual (2 personas), el manual propone una estrategia de despliegue gradual por fases para asegurar la adopción sostenible del sistema (Viveros et al., 2013).

Tabla 20*Hoja de ruta implementación*

Fase	Duración	Enfoque Principal	Entregables y Actividades Clave
Fase 1: Fundamentos	Meses 1-3	Cultura y Datos	• Capacitación del equipo en conceptos del manual. • Implementación de dashboards de KPIs en SAP. • Estandarización de la taxonomía de equipos.
Fase 2: Preventivo	Meses 4-6	Proactividad	• Ejecución de análisis de criticidad completo. • Análisis RCM del equipo piloto (PRESS-CR-001). • Implementación de procedimientos PM estándar.
Fase 3: Correctivo	Meses 7-9	Análisis y Respuesta	• Activación de la matriz de priorización de avisos. • Primeros análisis FTA para fallos recurrentes. • Inicio del registro de lecciones aprendidas.
Fase 4: Consolidación	Meses 10-12	Mejora y Expansión	• Análisis RCM de equipos críticos restantes. • Auditoría interna de cumplimiento. • Ajustes al sistema basados en el feedback operativo.

Nota: Propuesta de implementación sugerida para el manual de mantenimiento con un horizonte de 12 meses. Adaptado de (Crespo Marques, 2007) y (Gulati, 2020).

Consideraciones para la Sostenibilidad

Para que el sistema propuesto perdure en el tiempo, se requiere atención sobre tres pilares fundamentales:

1. Compromiso de la dirección: Es necesario entender los recursos asignados (tiempo y capacitación) como una inversión estratégica y no como un gasto, manteniendo el apoyo durante la curva de aprendizaje de 12-18 meses (Wireman, 2004).
2. Disciplina en la ejecución: El valor del manual reside en su aplicación consistente. Se debe resistir la tentación de volver a lo urgente y mantener la disciplina de registrar datos completos en las Órdenes de Trabajo y realizar los análisis de causa raíz cuando corresponda (Palmer, 2013).
3. Evolución continua: El manual es un documento vivo. A través del proceso IMP, se debe realizar una revisión anual obligatoria para incorporar nuevas tecnologías, actualizar matrices de riesgo y retirar procedimientos obsoletos, asegurando su vigencia (Liyanage & Kumar, 2003).

Objetivo 6 – Conclusiones

Cumplimiento de la norma y estandarización:

Se diseña una propuesta de manual de mantenimiento alineada con la estructura de procesos de la norma UNE-EN 17007:2018. La adopción de este estándar permite descomponer la gestión del mantenimiento de la línea de bombas CR en procesos claros de Gestión (MAN), Realización (PRV, COR, ACT) y Mejora (IMP), superando la visión tradicional de solo reparar equipos y transformándola en un sistema de gestión de activos estructurado (Global Forum on Maintenance & Asset Management, 2021).

Sobre el cambio de cultura operativa (Del Diagnóstico al Manual)

El diagnóstico inicial (Objetivo 2) revela un nivel de madurez Inicial caracterizado por la reactividad y la dependencia del conocimiento empírico del personal. La propuesta del manual mitiga directamente este riesgo mediante la documentación explícita del conocimiento. La inclusión de procedimientos estandarizados garantiza que la calidad de las intervenciones no dependa exclusivamente de la persona que las ejecuta, sino del cumplimiento del proceso, asegurando la sostenibilidad operativa ante la rotación de personal (Hillman, 2008).

Cuantitativamente, la adopción de estos procedimientos permite proyectar una evolución en el nivel de madurez de la gestión del mantenimiento. Se estima pasar del nivel 'Inicial' (detectado en el diagnóstico de la Figura 18) a un nivel 'Definido' y posteriormente 'Gestionado' en un horizonte de 24 meses. Esto se logra al cerrar las brechas de documentación y trazabilidad, transformando el mantenimiento de una actividad artesanal a un proceso industrial medible (Crespo Marques, 2007).

Sobre la efectividad técnica (Metodologías RCM y FTA)

La integración de metodologías de ingeniería de fiabilidad dentro del manual marca una diferencia cualitativa. La incorporación del RCM para la definición de tareas preventivas asegura que los recursos se enfoquen en los modos de fallo críticos que impactan la seguridad y la producción. La estandarización del FTA en el proceso correctivo transforma las averías de eventos negativos a oportunidades de aprendizaje, con lo que se cierra el ciclo de mejora continua que la empresa carecía (Moubray, 1997) (Veseley et al., 1981).

Sobre la medición del desempeño

Se establece una arquitectura de indicadores jerarquizada en tres niveles que conecta mantenimiento con la dirección. Al definir métricas claras como el MTBF y el MTTR con metas específicas, el manual proporciona las herramientas necesarias para transitar de una gestión basada en la percepción a una gestión basada en datos y evidencia (Beltrán Jaramillo, 2005).

Impacto en el negocio

La implementación de este manual no representa solo una mejora documental, sino una herramienta de rentabilidad. Al atacar las causas raíz de la baja disponibilidad y estandarizar la planificación, la propuesta contribuye directamente a estabilizar el OPR por encima del 92% y a controlar las desviaciones presupuestarias detectadas en el planteamiento del problema, validando la hipótesis de que una mejor gestión de activos impacta positivamente en los resultados financieros de la compañía (Parra & Crespo, 2012).

Recomendaciones

Con base en los hallazgos del proyecto y para garantizar el éxito en la implementación del manual propuesto en la empresa Grundfos, se recomienda:

Implementación Gradual (Piloto):

Dada la estructura organizacional ajustada (un ingeniero y un técnico), es imperativo aplicar estrictamente el principio de Pareto (80/20) derivado del análisis de criticidad. La implementación completa del RCM y FTA debe limitarse exclusivamente a los activos críticos, mientras que para los equipos de baja criticidad se mantendrán tareas genéricas. Esta estrategia asegura que la carga administrativa del sistema de gestión sea sostenible para el equipo actual sin comprometer la efectividad del manual (Moubray, 1997) (Crespo Marques, 2007).

No intentar implementar todo el manual simultáneamente en toda la planta. Se recomienda iniciar una prueba piloto de 3 meses exclusivamente en los Equipos Críticos. Esto permitirá ajustar los procedimientos a la realidad operativa y conseguir victorias tempranas que motiven al equipo antes de la expansión al resto de la línea (Kelly A. , 2006).

Saneamiento de Datos en SAP PM:

El éxito de los indicadores propuestos depende de la calidad de los datos. Se recomienda realizar una campaña de limpieza de datos maestros en SAP antes de iniciar la medición, asegurando que la taxonomía de equipos propuesta esté correctamente cargada y que el personal esté capacitado para ingresar correctamente los tiempos y fallas en las Órdenes de Trabajo (Hang, 2022).

Gestión del Cambio y Capacitación:

El mayor desafío para este manual no es técnico, sino cultural. Se recomienda establecer un programa de capacitación formal y obligatorio para los técnicos y operadores, no solo en el uso de los formatos, sino en los conceptos de RCM y Análisis de Causa Raíz. Es vital que el personal entienda por qué se les pide llenar un reporte, para evitar que lo vean como una carga burocrática (Reason & Hobbs, 2003).

Inversión en Stock Estratégico:

Dado que el manual define políticas de stock para repuestos críticos, se recomienda realizar una auditoría inmediata del almacén físico contra la lista de repuestos críticos propuesta. La dirección debe aprobar el presupuesto necesario para completar el stock de seguridad de los ítems Clase A, ya que ningún procedimiento de mantenimiento puede reducir el tiempo de reparación si el repuesto no está disponible (Blanchard, 2014).

Auditoría Anual del Manual:

El manual debe ser un documento vivo. Se recomienda establecer una revisión anual obligatoria (Proceso IMP) liderada por el Ingeniero de Mantenimiento, para actualizar las matrices de riesgo, incorporar nuevas tecnologías adquiridas por la planta y retirar procedimientos obsoletos, asegurando que el sistema de gestión mantenga su vigencia frente a la norma UNE-EN 17007 (Galar Pascual & Kumar, 2016).

Descripción de cómo se alcanza el logro de los objetivos

Uno – Normas.

El cumplimiento de este objetivo se materializa a través de un proceso de deconstrucción analítica de la norma. El hecho demostrable de este logro es la generación de las tablas de Entradas y Salidas (Tablas 2 a 7 del documento), las cuales traducen el texto normativo en flujos de trabajo aplicables a la industria.

Procesos Clave y Actividades Pertinentes:

Análisis del Proceso de Gestión (MAN): Se desglosa el proceso MAN para establecer cómo la estrategia corporativa debe descender hasta las actividades de piso. Se identificaron siete actividades clave, desde la definición de políticas hasta la supervisión, estableciendo el marco de gobernanza necesario para la empresa Grundfos.

Caracterización de los Procesos de Realización: Se estudian en profundidad los procesos PRV (Prevenir), COR (Corregir), ACT (Intervenir) e IMP (Mejorar). Como resultado, se determina la necesidad de integrar metodologías específicas no explícitas en la norma, pero sugeridas por la literatura técnica complementaria: se selecciona el RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) como motor del proceso PRV y el FTA (Análisis de Árbol de Fallos) para el proceso COR, vinculando así la norma con herramientas de ingeniería ejecutables.

Definición de Procesos de Soporte: Se revisan los requisitos para la gestión de recursos, datos y servicios externos (SER), identificando los elementos críticos que la línea de ensamblaje requería para sostener la operación, tales como la gestión de repuestos y la documentación técnica.

Dos – Estado Actual

Este objetivo se logra mediante la ejecución de una auditoría de madurez de mantenimiento. La evidencia es el resultado cuantitativo presentado en la Figura 18, que ubica a la gestión de mantenimiento de Grundfos en un nivel de madurez Inicial en una escala de 5 niveles, sustentado por datos recolectados en campo.

Procesos Clave y Actividades Pertinentes:

Diseño de Instrumentos de Recolección: Se crean tres formatos estandarizados basados en las normas UNE-EN 17007 y UNE-EN 16646 (Figuras 14, 15 y 16), abarcando 132 puntos de control y 93 preguntas de entrevista. Esto garantiza que el diagnóstico no fuera una opinión subjetiva, sino una evaluación técnica objetiva.

Ejecución del Trabajo de Campo: Se realizan entrevistas con el personal clave (técnicos e ingenieros) y una revisión documental de los registros en SAP PM. Se contrasta la existencia de procedimientos formales frente a la práctica diaria (lo que se debe hacer vs lo que se hace).

Análisis de Brechas: Se procesan los datos mediante la matriz de brechas (Figura 17). Los hechos revelados son contundentes: ausencia de una taxonomía de activos estandarizada, predominio de un enfoque reactivo (corrección de fallos sobre prevención) y falta de indicadores alineados con la estrategia del negocio. Este diagnóstico sirvió como la línea base obligatoria para el diseño del manual.

Tres – Estructura

El logro de este objetivo se evidencia en la arquitectura modular del manual presentada en la Figura 19. Se demuestra la capacidad de adaptar el mapa de procesos genérico de la norma a una estructura documental operativa para la línea de bombas multietapa.

Procesos Clave y Actividades Pertinentes:

Alineación Estratégica: Se define una estructura de siete capítulos de acuerdo con los procesos de la norma. Se decide separar los procesos de realización en capítulos independientes para dar claridad operativa a los técnicos, facilitando la consulta específica según el tipo de intervención.

Integración del Ciclo de Vida: Se estructura el manual para cubrir el ciclo completo del activo. Se diseña el flujo de información de modo que el Capítulo 2 (Gestión/MAN) alimente a los operativos, y que los resultados del Capítulo 6 (Mejora/IMP) retroalimenten la planificación inicial.

Adaptación al Contexto Operativo: Se seleccionan los procesos de soporte más críticos para Grundfos para conformar el Capítulo 7, descartando aquellos procesos de la norma que no aportaban valor inmediato a la realidad actual de la línea de ensamblaje.

Cuatro – Procedimientos

Este objetivo se alcanza mediante la estandarización operativa y la definición métrica. Los hechos que demuestran este logro son la elaboración del listado de procedimientos específicos (Tablas 9 a 12) y la construcción de la jerarquía de KPIs (Figura 20), pasando de conceptos abstractos a herramientas de trabajo.

Procesos Clave y Actividades Pertinentes:

Desarrollo de Procedimientos Ejecutables: Para cada proceso de la norma, se definieron procedimientos con objetivos y frecuencias claras:

- Para PRV, se formalizó el procedimiento de Ejecución de Análisis RCM.
- Para COR, se estableció el procedimiento de Generación y Clasificación de Avisos de Fallo con matriz de prioridad.
- Para ACT, se desarrollaron los protocolos de Gestión de Órdenes de Trabajo en SAP y Permisos de Trabajo/LOTO, atacando directamente la variabilidad en la ejecución detectada en el diagnóstico.

Diseño del Sistema de Medición de Desempeño: Se establece una pirámide de indicadores en tres niveles para asegurar el control total:

- Estratégicos: Definición del OPR y Costo Total.
- Tácticos: Establecimiento de fórmulas matemáticas para MTBF (Confiabilidad) y MTTR (Mantenibilidad) con metas basadas en benchmarks industriales (ej. MTTR < 2 horas).
- Operacionales: Creación de métricas de control diario como el Cumplimiento del Plan Preventivo.

Cinco – Manual

La culminación del proyecto se demuestra con la integración sistémica de la propuesta final. El manual no es un conjunto de documentos aislados, sino un sistema de gestión interconectado que responde a las necesidades financieras y operativas de Grundfos.

Procesos Clave y Actividades Pertinentes:

Consolidación de la Propuesta: Se unificaron los procedimientos, formatos y políticas en un documento maestro. Se establece la interconexión de flujos: cómo un dato ingresado en una Orden de Trabajo (ACT) se convierte en historial para el análisis de fallos (COR) y posteriormente en una mejora del plan (IMP).

Proyección de Impacto y Viabilidad: Se realiza un análisis de impacto esperado que proyecta cuantitativamente las mejoras en confiabilidad (aumento del MTBF) y reducción de costos. Se estimó un ahorro potencial de SGD 12,000-15,000 anuales mediante la prevención de paradas no planificadas, justificando la inversión en la implementación.

Definición de la Ruta de Implementación: Se diseña un plan de despliegue gradual, reconociendo las limitaciones de recursos humanos identificadas en el diagnóstico. Esto demuestra que el manual no es solo teóricamente correcto, sino posible de implementar en la realidad actual de la empresa.

Seis – Conclusiones

Este objetivo se alcanza mediante un ejercicio de síntesis integral y validación estratégica de todo el proyecto. El hecho demostrable es la presentación de un conjunto de conclusiones que validan la alineación con la norma UNE-EN 17007 y una hoja de ruta de recomendaciones prácticas que aseguran la viabilidad del manual en el entorno real de Grundfos.

Procesos Clave y Actividades Pertinentes:

Validación de la Solución frente al Problema: Se realiza un cruce analítico entre los hallazgos del diagnóstico inicial (Objetivo 2) y la estructura propuesta (Objetivo 5). Se concluyó factualmente que la adopción del estándar permite descomponer la caja negra del mantenimiento actual en procesos gestionables, transformando la cultura reactiva en un sistema basado en datos y evidencia técnica (RCM/FTA).

Diseño de la Estrategia de Despliegue: Lejos de entregar un documento teórico, se elaboró un plan de implementación gradual. Se definió como actividad clave el inicio mediante una Prueba Piloto de 3 meses enfocada exclusivamente en los Equipos Críticos identificados (Prensa Hidráulica y Soldadura Láser), mitigando el riesgo de rechazo al cambio y lo que permite victorias tempranas.

Definición de Requisitos de Sostenibilidad: Se establecieron las condiciones necesarias para que el manual perdure en el tiempo. Se identificaron como actividades críticas el saneamiento de datos maestros en SAP (para asegurar la calidad de los KPIs propuestos) y la capacitación formal del personal técnico, concluyendo que el éxito del manual depende tanto de la disciplina operativa como del soporte gerencial para la inversión en stock estratégico.

Referencias

- Adeniran, s., Monye, s., Ogundipe, A., Mufutau, T., & Ikumapayi, O. (2024). Maintenance Strategies and Procedures: an Overview. *2024 International Conference on Science, Engineering and Business for Driving Sustainable Development Goals (SEB4SDG)* (pág. 8). Omu-Aran: IEEE Xplore. <https://doi.org/10.1109/SEB4SDG60871.2024.10630278>
- Beltrán Jaramillo, J. M. (2005). *Indicadores de Gestión Herramientas para lograr la competitividad* (Segunda ed.). Bogotá, Cundinamarca, Colombia: 3R Editores. Recuperado el 26 de Octubre de 2025, de https://www.academia.edu/44369998/INDICADORES_DE_GESTION_HERRAMIENTAS_PARA_LOGRAR_LA_COMPETITIVIDAD
- Blanchard, B. S. (2014). *Logistics Engineering & Management* (Sexta ed.). Harlow, Essex, Inglaterra: Pearson. Recuperado el 20 de Agosto de 2025, de <https://www.pearson.com/en-gb/subject-catalog/p/logistics-engineering--management-pearson-new-international-edition/P200000003746/9781292051994>
- Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of educational objectives* (First ed.). Ann Arbor, Michigan, United States of America: Longmans. Recuperado el 19 de Septiembre de 2025, de <https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/PPP242/Benjamin%20S.%20Bloom%20-%20Taxonomy%20of%20Educational%20Objectives%2C%20Handbook%201%20Cognitive%20Domain-Addison%20Wesley%20Publishing%20Company%20%281956%29.pdf>
- Cárcel Carrasco, J. (1 de Octubre de 2015). Ingeniería del mantenimiento industrial y gestión del conocimiento. Mejora en la eficiencia de las empresas. (E. I. Grancolombiano, Ed.) *Revista Elementos*, 5(5), 122. <https://doi.org/10.15765/e.v5i5.641>

- Carlson, C. S. (2012). *Effective FMEAs: Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes using Failure Mode and Effects Analysis* (Primera ed.). Hoboken, New Jersey, United States of America: John Wiley & Sons. Recuperado el 8 de October de 2025, de <https://www.wiley.com/en-us/Effective+FMEAs%3A+Achieving+Safe%2C+Reliable%2C+and+Economical+Products+and+Processes+using+Failure+Mode+and+Effects+Analysis-p-9781118312582>
- Chávez Duran, G. M. (Marzo de 2022). *SISTEMAS DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO COMPUTARIZADO CMMS* [Documento]. Recuperado el 10 de 09 de 2025, de cmmshere. <https://cmmshere.com/wp-content/uploads/2022/03/art-CMMShere-marzo.pdf>
- Crespo Marques, A. (2007). *The Maintenance Management Framework. Models and Methods for Complex Systems Maintenance* (Primera ed.). (H. Pham, Ed.) London, United Kingdom: Springer. Recuperado el 22 de Octubre de 2025, de <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-84628-821-0>
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (Segunda ed., Vol. 3). Thousand Oaks, California, United States of America: Sage Publications Inc. Recuperado el 1 de Septiembre de 2025, de <https://collegepublishing.sagepub.com/products/designing-and-conducting-mixed-methods-research-3-241842>
- da Silva, R. F., & de Souza, G. F. (11 de October de 2022). Modeling a maintenance management framework for asset management based on ISO 55000 series guidelines. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 28(4), 915-937. <https://doi.org/10.1108/JQME-08-2020-0082>
- Dhillon, B. S. (2002). *Engineering Maintenance: A Modern Approach* (First ed.). Boca Ratón, Florida, United States of America: CRC Press. Recuperado el 18 de Noviembre de 2025,

de <https://www.routledge.com/Engineering-Maintenance-A-Modern-Approach/Dhillon/p/book/9780367342098>

Di Pasquale, V., De Simone, V., Franciosi, C., Morra, P., & Miranda, S. (20 de March de 2024).

Augmented and Virtual Reality to support Corrective and Preventive Actions in maintenance: a framework proposal. *Procedia Computer Science*, 232, 1879-1889.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.02.010>

Duffuaa, S. O., Raouf, A., & Dixon Campbell, J. (2002). *Sistemas de Mantenimiento Planeación y control* (Primera ed.). (F. R. Pérez Vásquez, Trad.) México D.F., México D.F., México: Editorial Limusa, S.A. DE C.V. Recuperado el 27 de Octubre de 2025, de https://books.google.com/books/about/Sistemas_de_mantenimiento.html?id=PQtTPAAA_CAAJ

Ebeling, C. E. (2019). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering* (Tercera ed.). Long Grove, Illinois, United States of America: Waveland Press, inc. Recuperado el 16 de Septiembre de 2025, de <https://waveland.com/browse.php?t=392&r=s|An%20Introduction%20to%20Reliability%20and%20Maintainability%20Engineering>

Ejaz, M. (10 de January de 2023). Smart Manufacturing as a Management Strategy to Achieve Sustainable Competitiveness. *Journal of the Knowledge Economy*(15), 682-705.
<https://doi.org/10.1007/s13132-023-01097-z>

Future Market Insights Inc. (13 de Febrero de 2025). *Asia Pacific Industrial Pumps Market*. Recuperado el 10 de September de 2025, de Asia Pacific Industrial Pumps Market Analysis – Size, Share & Forecast 2025-2035.
<https://www.futuremarketinsights.com/reports/asia-pacific-industrial-pumps-market>

Galar Pascual, D., & Kumar, U. (2016). *Maintenance audits handbook - A performance measurement Framework* (Primera ed.). Boca Raton, Florida, United States of America: CRC Press. Recuperado el 10 de Octubre de 2025, de

<https://www.routledge.com/Maintenance-Audits-Handbook-A-Performance-Measurement-Framework/GalarPascual-Kumar/p/book/9780367574994>

García Garrido, S. (2010). *Organización y gestión integral de mantenimiento* (Primera ed.).

Madrid, España: Diaz de Santos. Recuperado el 22 de Septiembre de 2025, de

<https://diazdesantos.es/ediciones>

Global Forum on Maintenance & Asset Management. (2021). *The Maintenance Framework*.

Global Forum on Maintenance & Asset Management. Toronto: GFMAM. Recuperado el

10 de Octubre de 2025, de <https://www.gfmam.org/sites/default/files/2021-02/GFMAM%20Maintenance%20Framework%20-%202nd%20Edition%20Final.pdf>

González Fernández, F. J. (2004). *Auditoría del Mantenimiento e Indicadores de Gestión* (1 ed.).

Madrid, Madrid, España: FC Editorial. Recuperado el 8 de Noviembre de 2025, de

<https://fundacionconfemetal.com/Editorial/Mantenimiento/Auditoria-del-mantenimiento-e-indicadores-de-gestion/>

Grundfos Holding A/S. (2025). *Flash Sales*. Grundfos.

Grundfos Holding A/S. (6 de Febrero de 2025). *Grundfos Annual Report 2024*. Grundfos.

<https://www.grundfos.com/media/reports-and-publications/grundfos-annual-report-2024>

Grundfos Holding A/S. (1 de January de 2025). *Our History*. Recuperado el 12 de Septiembre de

2025, de Grundfos. <https://www.grundfos.com/es/about-us/who-we-are>

Gulati, R. (2020). *Maintenance and Reliability Best Practices* (Tercera ed.). (J. Bass, Ed.) South

Norwalk, Connecticut, Estados Unidos de América: Industrial Press Inc. Recuperado el

17 de 09 de 2025, de <https://books.industrialpress.com/9780831136475/maintenance-and-reliability-best-practices/>

Halme, J., & Aikala, A. (20 de June de 2012). Fault tree analysis for maintenance needs. *Journal*

of Physics: Conference Series, 364, 12. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/364/1/012102>

Hang, J. Y. (2022). Information Quality for Effective Asset Management: A literature review. *IFAC-*

PapersOnLine, 55(19), 235-240. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.213>

- Hansen, K. B. (2023). *Effective Maintenance: A Configuration Approach*. Technical University of Denmark, Department of Civil and Mechanical Engineering. Denmark: Technical University of Denmark. Recuperado el 16 de Octubre de 2025, de https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/350317780/PhD_thesis_Kasper_Barslund_Hansen.pdf
- Hansen, R. C. (2011). *Overall Equipment Effectiveness: A Powerful Production / Maintenance Tool for Increased Profits*. New York, New York, United States of America: Industrial Press Inc. Recuperado el 22 de Octubre de 2025, de <https://books.industrialpress.com/9780831131388/overall-equipment-effectiveness/>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). México DF, México: McGraw-Hill. Recuperado el 10 de Agosto de 2025, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>
- Higgins, L. R., Mobley, R. K., & Smith, R. (2002). *Maintenance Engineering Handbook* (Sexta ed.). New York, New York, United States of America: McGraw Hill. Recuperado el 15 de Octubre de 2025, de <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781266018923>
- Hillman, B. (15 de Noviembre de 2008). *Developing Standard Maintenance Procedures*. Recuperado el 28 de Octubre de 2025, de ReliablePlant. <https://www.reliableplant.com/Read/14671/developing-procedures>
- IEC. (13 de December de 2006). IEC 61025 - Fault Tree Analysis. (I. E. Commission, Ed.) *International Electromechanical Commission*, 1(2), 103. Recuperado el 28 de September de 2025, de <https://webstore.iec.ch/en/publication/4311>
- Jardine, A. K., & Tsang, A. H. (2022). *Maintenance, replacement and reliability* (Tercera ed.). Boca Ratón, Florida, Estados Unidos de America: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429021565>

- JIPM, J. I. (1996). *TPM for Every Operator* (Primera ed.). (J. I. Maintenance, Ed., & T. a. Francis Group, Trad.) Boca Raton, Florida, United States of America: CRC Press. Recuperado el 27 de Septiembre de 2025, de https://www.routledge.com/TPM-for-Every-Operator/JapanInstituteofPlantMaintenance/p/book/9781563270802?srsId=AfmBOoqUtMdYNJXO_G3vZITkL5smHY957segGIBRpja4feGC3WqBQpMq
- Kelly, A. (2006). *Strategic Maintenance Planning* (Primera ed., Vol. 1). (Butterworth-Heinemann, Ed.) Oxford, Inglaterra, Reino Unido: Elsevier Ltd. Recuperado el 20 de Noviembre de 2025, de <https://shop.elsevier.com/books/strategic-maintenance-planning/kelly/978-0-7506-6992-4>
- Kelly, A., & Harris, M. (1998). *Gestión del Mantenimiento Industrial* (1 ed.). (G. Alvarez Cuervo, & J. P. Maza Sabalet, Trads.) Madrid, Madrid, España: Fundación Repsol Publicaciones. Recuperado el 15 de Noviembre de 2025, de <https://en.todocoleccion.net/second-hand-books-sciences/gestion-mantenimiento-industrial-kelly-m-harris~x344048848>
- KPMG Advisory. (10 de March de 2025). *The Asia Data Centre Landscape* [Web Document]. Recuperado el 20 de Agosto de 2025, de KPMG International. <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/cn/pdf/en/2025/03/the-asia-data-centre-landscape.pdf>
- Lárez Alcázar, A. (19 de Junio de 2019). *Recorriendo la implementación de la Gestión de Activos según la Norma ISO 55001*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2025, de Predictiva 21. <https://predictiva21.com/recorriendo-la-implementacion-de-la-gestion-de-activos-segun-la-norma-iso-55001>
- Levitt, J. (2004). *Managing Factory Maintenance* (Segunda ed.). New York, New York, United States of America: Industrial Press Inc. Recuperado el 22 de September de 2025, de <https://books.industrialpress.com/9780831131890/managing-factory-maintenance/>

- Liyanage, J. P., & Kumar, U. (1 de December de 2003). Towards a value-based view on operations and maintenance performance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 9(4), 333-350. <https://doi.org/10.1108/13552510310503213>
- Macchi, M., & Fumagalli, L. (9 de Agosto de 2013). A maintenance maturity assessment method for the manufacturing industry. (S. O'Duffua, Ed.) *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 19(3), 295-315. <https://doi.org/10.1108/JQME-05-2013-0027>
- Martin, H., Gelders, L., Pintelon, L., & Muchiri, P. (10 de May de 2011). Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 295-302. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.039>
- Medina, R. (22 de Febrero de 2021). *Presentación: Procesos de mantenimiento alineado a la UNE en 17007*. Recuperado el 25 de Agosto de 2025, de Mantenimeinto dentro de la Gestión de Activos - Canvas - Universidad del Valle. <https://view.genially.com/6222e8b0af8caa001830ecd7/interactive-content-mantgaanexo-2-medinar-pmau-17007>
- Mikulak, R. J., McDermott, R., & Beauregard, M. (2008). *The Basics of FMEA* (Segunda ed.). Boca Ratón, Florida, United States of America: CRC Press. Recuperado el 26 de Septiembre de 2025, de <https://www.routledge.com/The-Basics-of-FMEA/Mikulak-McDermott-Beauregard/p/book/9781563273773?srsId=AfmBOoovp-mH8F8hqNTk6AOv64DFWdBK5-QzuSbxPXqSHq1YWKkHI1bB>
- Mishra, R. P., Kodali, R. B., Gupta, G., & Mundra, N. (27 de Marzo de 2015). Development of a Framework for Implementation of World-class Maintenance Systems Using Interpretive Structural Modeling Approach. *Procedia CIRP*, 26, 424-429. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.174>
- Mobley, K. (2002). *An introduction to predictive maintenance* (Segunda ed.). Woburn, Massachusetts, United States of America: Butterworth-Heinemann. Recuperado el 25 de

- Septiembre de 2025, de <https://shop.elsevier.com/books/an-introduction-to-predictive-maintenance/mobley/978-0-7506-7531-4>
- Mora Gutiérrez, A. (2009). *Mantenimiento Planeacion, ejecucion y control* (Primera ed.). México D.F., México D.F., México: Alfaomega. Recuperado el 30 de Octubre de 2025, de <https://alfaomega.com.mx/producto/mantenimiento-planeacion-ejecucion-y-control/#/>
- Moubray, J. (1997). *Reliability-Centered Maintenance* (Segunda ed.). New York, New York, United States of America: Industrial Press Inc. Recuperado el 18 de Septiembre de 2025, de <https://books.industrialpress.com/9780831131463/reliability-centered-maintenance/>
- Navarro, L., Pastor Tejedor, A. C., & Magaburu Lacab, J. M. (1997). *Gestion Integral del mantenimiento* (1 ed.). Barcelona, Cataluña, España: Marcombo Boixareu Editores. Recuperado el 15 de Noviembre de 2025, de https://www.amazon.com/Gestion-Integral-Mantenimiento-Spanish-Guillermo/dp/8426711219/ref=sr_1_1?dib=eyJ2ljojMSJ9.xrKzMFbs5JkeW4gjBYS-5g.PWFRRSrWih8qcy08WHsJC2irygocdL4fO1Qe8HB1Vto&dib_tag=se&keywords=9788426711212&linkCode=qs&qid=1764489795&s=books&sr=1-
- Okes, D. (2019). *Root Cause Analysis: The Core of Problem Solving and Corrective Action* (Segunda ed.). Milwaukee, Wisconsin, United States of America: ASQ Quality Press. Recuperado el 18 de Septiembre de 2025, de <https://asq.org/quality-press/display-item?item=H1610>
- Oost, R. (2024). *Development and Evaluation of a Maintenance Maturity Matrix for Small and Medium Enterprises*. University of Twente, Faculty of Engineering Technology. Enschede: University of Twente. Recuperado el 27 de Octubre de 2025, de <https://purl.utwente.nl/essays/99961>
- Palmer, R. (2013). *Maintenance planning and scheduling handbook* (Tercera ed.). New York, New York, United States of America: McGraw-Hill Education. Recuperado el 28 de Agosto de 2025, de <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071784115>

- Parra, C., & Crespo, A. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos* (Primera ed.). Sevilla, España: Ingeman. Recuperado el 10 de Octubre de 2025, de <https://ingeman.net/cursos/inicio/16-libro-ingenieria-de-mantenimiento-y-fiabilidad-aplicada-en-la-gestion-de-activos.html>
- Parra, C., Morán, C., Pizarro, F., Duque, P., Aránguiz, A., González-Prida, V., & Parra, J. (2024, Diciembre 6). Implementation of the Asset Management, Operational. (M. C. Carnero, Ed.) *MDPI*, 15(12), 33. <https://doi.org/10.3390/info15120784>
- Project Management Institute. (2021). *A guide to the project management body of knowledge* (7th ed.). Newton Square, Pennsylvania, United States of America: Project Management Institute. Recuperado el 17 de Octubre de 2025, de <https://www.pmi.org/standards/pmbok>
- Rausand, M. (2004). *System Reliability Theory. Model, Statistical Methods and Applications* (Segunda ed.). Hoboken, New Jersey, United States of America: John Wiley & Sons, Inc. Recuperado el 22 de Octubre de 2025, de <https://galaxy.agh.edu.pl/~kito/ABD/System%20Reliability%20Theory%20Models%20and%20Statistical%20Methods.pdf>
- Reason, J., & Hobbs, A. (2003). *Managing Maintenance Error A Practical Guide* (Primera ed.). Boca Raton, Florida, United States of America: CRC Press. Recuperado el 3 de Octubre de 2025, de <https://www.routledge.com/Managing-Maintenance-Error-A-Practical-Guide/Reason-Hobbs/p/book/9780754615910>
- Rey Sacristan, F. (1996). *Hacia la excelencia en Mantenimiento* (1 ed.). Madrid, Madrid, España: TGP Hoshin, S.L. Recuperado el 14 de Octubre de 2025, de <https://www.abebooks.com/9788487022210/Hacia-excelencia-mantenimiento-REY-SACRISTAN-8487022219/plp>
- Rival, O., & Choudhary, A. (10 de October de 2024). *Accelerating compute needs underpin Southeast Asia's rapid data center growth* [Web document]. (B. C. Group, Ed.) Recuperado el 5 de Septiembre de 2025, de Boston Consulting Group. <https://web->

assets.bcg.com/8b/c0/4ae607944bdd8d83068cfef87e31/accelerating-compute-needs-underpin-sea-dc-growth-vfinal.pdf

Rojas Sánchez, A. (2019). Implementación de Indicadores de mantenimiento a través de herramienta BI para una empresa de gestión del ciclo integral del agua. *Trabajo de fin de máster*, 99. Sevilla, España: Universidad de Sevilla. Recuperado el 27 de Agosto de 2025, de <https://idus.us.es/items/a2b660f1-e79f-45bd-829b-0c82a8539c83>

Souris, J.-P. (1992). *Mantenimiento: Fuente de Beneficios* (1 ed.). (D. S. (Madrid), Trad.) Paris, Paris, Francia: Ediciones Diaz de Santos S.A. Recuperado el 10 de Noviembre de 2025, de <https://www.editediazdesantos.com/libros/souris-jean-paul-el-mantenimiento-fuente-de-beneficios-L03000210102.html>

Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis - FMEA from Theory to Execution* (2nd ed.). Milwaukee, Wiscosin, United States of America: ASQ Quality Press. Recuperado el 5 de Noviembre de 2025, de <https://asq.org/quality-press/display-item?item=H1188>

Sullivan, G. P., Pugh, R., & Melendez, A. P. (2010). *Operations and Maintenance Best Practices- A Guide to Achieving Operational Efficiency (Release 3)* (3 ed.). Richland, Washington, United States of America: Pacific Northwest National Laboratory. <https://doi.org/10.2172/1034595>

Troffé, M. (18 de Febrero de 2009). Base de datos de confiabilidad, dirigido a la gestion del conocimiento y mitigación de riesgos. (M. L. Kaindl, Ed.) *Petrotecnica*, 1(1), págs. 12-23. Recuperado el 12 de Noviembre de 2025, de https://www.petrotecnia.com.ar/petro_01_09/sin%20avisos/base_de_datos_de_confiabilidad.pdf

U.S. Department of Defence. (2011). *Reliability-Centered Maintenance Process* (1 ed.). Washington, Washington, United States of America: U.S. Department of Defence. Recuperado el 15 de Octubre de 2025, de http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-3000-9999/MIL-STD-3034_30534/

- UNE EN 15341. (7 de Octubre de 2020). UNE EN 15341 Mantenimiento. Indicadores clave de rendimiento del mantenimiento. (A. E. Normalización, Ed.) *Asociación Española de Normalización*(1), 54. Recuperado el 23 de Octubre de 2025, de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0064682>
- UNE-EN 17007. (14 de Mayo de 2018). UNE-EN 17007:2018, Proceso de mantenimiento e indicadores asociados. (A. E. Normalizacion, Ed.) *Asociacion Española de Normalizacion*, 77. Recuperado el 05 de Septiembre de 2025, de <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-17007-2018-n0060183>
- Valdez, L., Martinez, M., Solva, B., & Guerrero, M. (31 de Marzo de 2022). Modelo Integral de Evaluación de Proveedores de Servicios de Mantenimiento con Énfasis en la Seguridad. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, 18(34), 12. <https://doi.org/10.18270/cuaderlam.v18i34.3693>
- Veseley, W., Goldberg, F. F., Roberts, N. H., & Haasl, D. F. (1981). *Fault Tree Handbook* (Primera ed.). Washington D.C., Washington D.C., United States of America: U.S> Nuclear Regulatory Commission. Recuperado el 15 de Septiembre de 2025, de <https://www.nrc.gov/docs/ml1007/ml100780465.pdf>
- Villacres, S., Cuzco, M., Londoño, C., & Perrales, M. (6 de Marzo de 2020). Modelo de auditoría para evaluar la gestión de mantenimiento de activos físicos. *ConcienciaDigital*, 3(1.2), 104-122. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i1.2.1189>
- Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L., & Crespo, A. (1 de Abril de 2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 21(1), 125-138. Recuperado el 20 de Octubre de 2025, de <https://www.redalyc.org/pdf/772/77225903012.pdf>
- Wireman, T. (2004). *Benchmarking BEST Practices in Maintenance Management* (Segunda ed.). New York, New York, United States of America: Industrial Press. Recuperado el 2 de Noviembre de 2025, de

<https://books.industrialpress.com/9780831134259/benchmarking-best-practices-in-maintenance-management/>

Wireman, T. (2005). *Developing Performance Indicator for Managing Maintenance* (Segunda ed.). (J. Carleo, Ed.) New York, New York, United States of America: Industrial Press Inc.

Recuperado el 10 de Noviembre de 2025, de

<https://books.industrialpress.com/9780831131845/developing-performance-indicators-for-managing-maintenance/>

Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and Methods* (Sexta ed.). Los Angeles, California, United States of America: SAGE Publications. Recuperado el 20 de

Agosto de 2025, de <https://uk.sagepub.com/en-gb/eur/case-study-research-and-applications/book250150>