

# Gestión eficiente y sostenible en la industria: Manual de evaluación de sistemas de mantenimiento

## Efficient and sustainable management in industry: A Framework for assessing maintenance systems

Márquez, Vanessa<sup>1</sup>; Salas, Pedro<sup>1,2\*</sup>; León, Francisco<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

<sup>2</sup>Universidad Internacional de Valencia, VIU, España.

\* [pedrosalas@ula.ve](mailto:pedrosalas@ula.ve)

### Abstract

*In today's industrial landscape, competitiveness and operational efficiency rely heavily on robust production systems, where maintenance plays a critical role in ensuring asset reliability and safety. Despite its importance, the literature reveals a lack of standardized guidelines for assessing the effectiveness of these systems. In Venezuela and other Latin American countries, the COVENIN 2500-93 standard has long served as a key reference, yet its outdated framework limits its relevance considering modern technologies and management practices. This study addresses that gap by developing an evaluation manual aligned with current international standards. The methodology combined a comprehensive review of COVENIN 2500-93 and its application in academic and industrial context, with expert surveys to identify outdated procedures and gaps related to global benchmarks. Findings underscore the urgent need to update the standard, particularly in areas such as technology integration, sustainability, energy efficiency, asset management, occupational safety, and documentation process. The proposed manual incorporates the Deming Cycle (PDCA) and an organizational maturity model, structured around twelve key areas. Its implementation enhances maintenance practices, reduces operational costs, and strengthens business competitiveness through a more proactive, efficient, and sustainable approach.*

**Keywords:** Asset management, maintenance system, Industry 4.0, organizational maturity, Deming cycle (PDCA), maintenance sustainability, energy efficiency, occupational safety, evaluation manual.

### Resumen

*En el contexto industrial actual, la competitividad y la eficiencia operativa dependen de sistemas productivos sólidos, donde el mantenimiento industrial desempeña un rol esencial para garantizar el rendimiento seguro y eficiente de activos. No obstante, la revisión del estado del arte evidencia una carencia de manuales estandarizados para evaluar la eficacia de estos sistemas. En Venezuela y otros países latinoamericanos, la norma COVENIN 2500-93 ha sido una referencia clave, pero su desactualización limita su aplicabilidad frente a los avances tecnológicos y metodologías contemporáneas. Este artículo propone un manual de evaluación de sistemas de mantenimiento alineado con estándares internacionales, basado en una revisión exhaustiva de la norma COVENIN 2500-93 y su aplicación en proyectos académicos e industriales, complementada con encuestas a expertos del sector. Los resultados destacan la necesidad urgente de actualizar la norma incorporando enfoques tecnológicos, sostenibilidad, eficiencia energética, gestión integral de activos, seguridad laboral y modernización documental. El manual propuesto integra el ciclo Deming (PHVA) y un modelo de madurez organizacional, estructurado en doce áreas clave. Su adopción permite optimizar procesos, reducir costos y mejorar la competitividad empresarial mediante una gestión de mantenimiento más proactiva, eficiente y sostenible.*

**Palabra clave:** Gestión de activos, sistema de mantenimiento, Industria 4.0, madurez organizacional, ciclo Deming (PHVA), sostenibilidad del mantenimiento, eficiencia energética, seguridad laboral, manual de evaluación.

## 1 Introducción

La competitividad y eficiencia operativa en el sector industrial contemporáneo dependen, en gran medida, de la solidez de los sistemas productivos y de una gestión de mantenimiento eficaz, la cual es esencial para garantizar el rendimiento óptimo y la continuidad operativa de los activos. No obstante, la acelerada evolución tecnológica y las crecientes exigencias del entorno industrial han dejado obsoletos muchas de las estructuras de evaluación actualmente vigentes. En la era de la Industria 4.0, que impulsa la digitalización avanzada y el uso de datos, así como la adopción de tecnologías emergentes, las normativas de mantenimiento requieren una profunda actualización. La norma venezolana COVENIN 2500-93, aunque ha constituido una referencia fundamental desde su publicación en 1993 para la evaluación de sistemas de mantenimiento en Venezuela y otros países de América Latina, presenta limitaciones significativas frente a los avances tecnológicos y a las metodologías de gestión modernas.

La revisión del estado del arte evidencia una carencia de manuales estandarizados y actualizados que permitan evaluar de manera efectiva la eficiencia de los sistemas de mantenimiento industrial, una situación reconocida por la literatura especializada (Parida et al., 2015). Este vacío resalta la necesidad de integrar aspectos cruciales como la gestión de activos (alineada con estándares como la norma ISO 55000), la sostenibilidad y eficiencia energética (promovidos por la norma ISO 14000), la seguridad y salud ocupacional (según la norma ISO 45001), y la modernización de los procedimientos documentales. La naturaleza generalista de muchas normas internacionales y la protección intelectual de metodologías internas (desarrolladas por empresas consultoras) han contribuido a esta falta de herramientas prácticas. Por ello, se hace necesario el desarrollo de una herramienta práctica, moderna y contextualizada que permita a las organizaciones diagnosticar y optimizar sus sistemas de mantenimiento.

Este artículo responde a dicha necesidad mediante la presentación del proceso de desarrollo de un manual de evaluación de sistemas de mantenimiento, concebido bajo un enfoque actualizado y alineado con los estándares internacionales vigentes. La metodología de investigación se fundamenta en una exhaustiva revisión documental de la norma COVENIN 2500-93 y su aplicación en diversos proyectos académicos e industriales, complementada con encuestas dirigidas a expertos del sector. Este enfoque permitió la identificación y el análisis de los factores y procedimientos de la norma COVENIN 2500-93 que requieren actualización o presentan vacíos frente a las mejores prácticas internacionales.

Como resultado, se propone un manual que incorpora principios fundamentales como el ciclo Deming (PHVA) y un modelo de madurez organizacional, ofreciendo una estructura integral para la evaluación de doce áreas clave. Estas áreas abarcan desde la gestión organizacional y estraté-

gica hasta dimensiones contemporáneas esenciales para la Industria 4.0, como la sostenibilidad, la eficiencia energética la seguridad y salud ocupacional, y los sistemas de información. La adopción de este manual no solo permite optimizar los procesos de mantenimiento y reducir los costos operativos, sino que también fortalece la competitividad empresarial al alinearse con estándares internacionales, promoviendo una gestión más proactiva, eficiente y sostenible.

Debido a su extensión, el contenido de este manual se presenta como un documento separado a este artículo. Para su acceso, se indica un enlace electrónico proporcionado en el apartado *5.1 Estructura del manual*.

## 2 Marco Teórico

El presente marco teórico sienta las bases conceptuales y normativas esenciales para comprender la evolución y las exigencias actuales de la gestión del mantenimiento industrial. En un entorno impulsado por la Industria 4.0 y la creciente demanda de eficiencia y sostenibilidad, es imperativo que las prácticas de mantenimiento se adapten a los avances tecnológicos y a los estándares internacionales más recientes. Esta sección aborda definiciones clave, los tipos de mantenimiento más relevantes, el papel de las normas internacionales y las metodologías que sustentan la propuesta de un manual de evaluación actualizado.

### 2.1 La industria 4.0 y el mantenimiento

La industria 4.0 representa una transformación fundamental en la manufactura y la gestión operativa, caracterizadas por la digitalización avanzada, la interconectividad y el uso intensivo de datos. Esta nueva era integra tecnologías emergentes para crear entornos productivos inteligentes y autónomos (IBM, s.f.). En el contexto del mantenimiento, la Industria 4.0 habilita una transición de enfoques reactivos o preventivos basados en tiempo, hacia modelos predictivos y prescriptivos (ESIngeniería, s.f.). Esto implica el monitoreo constante de la condición de los activos en tiempo real, el análisis avanzado de grandes volúmenes de datos (Big Data) para anticipar fallas y optimizar las intervenciones, y la toma de decisiones informadas para maximizar la vida útil y la eficiencia de los equipos. La adopción de estas tecnologías es crucial para que las empresas logren una gestión de mantenimiento más proactiva, eficiente y sostenible (Indestan, s.f.).

### 2.2 La industria 4.0 y el mantenimiento

Un sistema de mantenimiento es un conjunto de procesos, procedimientos y recursos, organizados y estructurados, que se implementan para gestionar el mantenimiento de los activos físicos de una organización. Para Mora (2010), un sistema de mantenimiento eficiente requiere de dos aspectos básicos que definen la función de mantenimiento en la in-

dustria: la gestión (manejo de recursos) y la operación (realización física del servicio).

Estos sistemas son cada vez más digitalizados y basados en datos, integrando tecnologías para una mayor eficiencia y proactividad

### 2.3 Gestión de mantenimiento

La gestión de mantenimiento es un conjunto de actividades planificadas y sistemáticas destinadas a asegurar el buen funcionamiento de los activos físicos de una empresa, como maquinaria, equipos, instalaciones y edificios. Según la norma UNE-EN 13306:2018 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2018a), estas actividades incluyen la determinación de requisitos, objetivos, estrategias y responsabilidades del mantenimiento. Su implementación se realiza a través de la planificación, organización, dirección y control, garantizando que los activos físicos se mantengan en condiciones óptimas de funcionamiento al menor costo económico posible.

En el contexto actual, la gestión de mantenimiento se percibe como una inversión estratégica para la confiabilidad y la eficiencia de los activos, buscando no solo el buen funcionamiento, sino también la creación de valor a lo largo de todo su ciclo de vida.

### 2.4 Tipos de mantenimiento

La norma UNE-EN 13306:2018 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2018a) establece varios tipos de mantenimiento, entre los cuales se destacan la definición de los siguientes para el desarrollo de esta investigación:

- **Mantenimiento Preventivo:** es un conjunto de actividades programadas que se realizan para evaluar y/o mitigar la degradación, reduciendo la probabilidad de falla de un elemento. Estas actividades incluyen inspecciones regulares, ajustes, limpieza, lubricación, calibración y reemplazo de piezas desgastadas. Aunque el mantenimiento preventivo es esencial para la industria, su enfoque programado puede no siempre optimizar los tiempos de intervención o el estado real del activo, lo que ha llevado al desarrollo de enfoques avanzados como el mantenimiento predictivo y el mantenimiento basado en condición de los activos.
- **Mantenimiento Predictivo:** consiste en un conjunto de actividades relacionadas con el mantenimiento basado en condición, pero siguiendo una predicción obtenida del análisis repetido o de características conocidas y de la evaluación de los parámetros significativos de la degradación del elemento. Se basa en el monitoreo continuo del estado de los equipos mediante técnicas de diagnóstico y pronóstico como el análisis de vibraciones, termografía, análisis de aceite, entre otras. Estas técnicas permiten analizar datos para predecir fallas

antes de que ocurran y realizar intervenciones en el momento óptimo, asegurando el funcionamiento eficiente y prolongando la vida útil de los equipos.

- **Mantenimiento Basado en Condición (CBM):** consiste en un conjunto de actividades que se realizan en función del estado de un elemento, determinado a partir de datos de monitoreo en tiempo real. A diferencia del mantenimiento predictivo, que busca pronosticar una falla, el CBM se centra en evaluar la condición actual para programar intervenciones solo cuando es necesario, optimizando el uso de recursos y extendiendo la vida útil de los activos. Este enfoque es fundamental en la Industria 4.0, ya que se apoya en el uso de sensores IoT y análisis de datos para una toma de decisiones más precisa.
- **Mantenimiento Correctivo:** es el conjunto de acciones que se realizan después del reconocimiento de una avería, con el objetivo de restaurar un elemento a un estado en que pueda cumplir con una función requerida. Estas acciones pueden no realizarse de inmediato, sino que puedan retrasarse según reglas establecidas (mantenimiento correctivo diferido) o llevarse a cabo sin demora tras la detección de la avería para evitar consecuencias inaceptables (mantenimiento correctivo inmediato). La norma UNE acota que el mantenimiento correctivo diferido puede planificarse y ejecutarse de manera programada.

### 2.5 Normas Internacionales (ISO) aplicadas al mantenimiento industrial

Las normas internacionales relacionadas con el mantenimiento industrial proporcionan un marco de referencia para la gestión de activos, calidad y medio ambiente. Algunas de las normas más relevantes son

- **Norma ISO series 55001 (Gestión de activos):** conjunto de estándares que proporcionan directrices para la gestión eficiente de los activos físicos de una organización, asegurando su valor a lo largo de su ciclo de vida (International Organization for Standardization, 2024). Esta norma redefine el mantenimiento como una función estratégica para maximizar el valor de los activos físicos, alineándolo con los objetivos empresariales globales. En su última actualización (2024) introduce aspectos como gobernanza, decisión basada en valor, datos y cambio climático.
- **Norma ISO series 9000 (Gestión de calidad):** normas que establecen las directrices para un sistema de gestión de calidad, con el objetivo de asegurar que una organización pueda cumplir consistentemente con los requisitos del cliente y mejorar continuamente (International Organization for Standardization, 2015a). Esta norma asegura la mejora continua en los procesos de mantenimiento, contribuyendo directamente a la confiabilidad de los activos y la satisfacción del cliente interno.

- Norma ISO series 14000 (Gestión ambiental): normas que especifican las directrices para un sistema de gestión ambiental, ayudando a las organizaciones a mejorar su desempeño ambiental y cumplir con las regulaciones legales y otros requisitos (International Organization for Standardization, 2015b). Esta norma es fundamental para la sostenibilidad del mantenimiento, al proporcionar directrices para minimizar el impacto ambiental de las operaciones, incluyendo la eficiencia energética, la gestión de residuos y la reducción de la huella de carbono.
- Norma ISO 45001 (Seguridad y salud en el trabajo): norma que establece los requisitos para un sistema de gestión de seguridad y salud de los empleados en el lugar de trabajo, reduciendo los riesgos y creando condiciones laborales más seguras (International Organization for Standardization, 2018). La norma es un pilar esencial para cualquier organización responsable que promueva un entorno laboral seguro.

### 2.6 Norma COVENIN 2500-93

La norma COVENIN 2500-93 es una normativa venezolana que establece los procedimientos y criterios para evaluar la gestión de mantenimiento en la industria (Comisión Venezolana de Normas Industriales, 1993a). Desde su implementación en el año 1993, ha sido una referencia esencial en el sector manufacturero en Latinoamérica. Proporciona directrices claras y prácticas para la evaluación y mejora de los sistemas de mantenimiento, contribuyendo significativamente a la eficiencia operativa y a la reducción de costos. Su aplicabilidad también ha sido ampliamente reconocida y utilizada en diversos proyectos académicos, incluyendo pasantías industriales, trabajos de grado, tesis de maestrías y doctorales. Sin embargo, a pesar de su valor histórico, su desactualización limita severamente su aplicabilidad frente a los rápidos avances tecnológicos, la emergencia de la industria 4.0 y las metodologías de gestión contemporáneas.

### 2.7 Ciclo Deming

El ciclo Deming, también conocido como ciclo de mejora continua, es una herramienta fundamental en la gestión de procesos para la mejora continua (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2004). Este ciclo consta de cuatro etapas (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar), las cuales permiten a las organizaciones optimizar sus operaciones y adaptarse a las exigencias del entorno industrial. La aplicación efectiva del ciclo Deming en la gestión de mantenimiento es relevante porque permite un enfoque estructurado y sistemático para la optimización de sus procesos. En el manual propuesto el ciclo Deming (PHVA) es una metodología fundamental para la mejora continua dentro de cada una de las doce áreas de evaluación.

### 2.8 Modelo de madurez organizacional

El modelo de madurez organizacional es una metodología esencial para evaluar el nivel de desarrollo y la capacidad de una organización en la gestión de mantenimiento (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2018b). se fundamenta en que las organizaciones evolucionan a través de diferentes niveles, cada uno reflejando un mayor grado de sofisticación, eficacia y eficiencia en sus procesos de mantenimiento. La relevancia de este modelo radica en su capacidad para proporcionar un diagnóstico claro del estado actual del sistema de mantenimiento. Esto permite a las organizaciones comprender sus fortalezas y debilidades, así como establecer un plan de acción para su mejora continua, definiendo objetivos específicos para escalar hacia niveles superiores de madurez. Este modelo es esencial para el manual de evaluación, ya que no solo proporciona un diagnóstico claro del estado actual del sistema de mantenimiento, sino que también guía el establecimiento de objetivos y planes de acción para escalar hacia niveles superiores de eficiencia y sofisticación, alineando las mejoras con la estrategia organizacional.

### 2.9 Sostenibilidad del mantenimiento

La sostenibilidad del mantenimiento es un pilar cada vez más crítico en la gestión industrial moderna. Se define como la capacidad de una organización para mantener sus operaciones de mantenimiento de forma continua y eficiente, considerando factores ambientales, sociales y económicos a largo plazo (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2018a). Esto implica minimizar el impacto ambiental (reducción del consumo energético, gestión de residuos, disminución de emisiones de carbono), pero también asegurar la viabilidad económica y el bienestar social, lo que contribuye directamente a la competitividad y reputación empresarial.

## 2 Metodología

El desarrollo de la presente investigación se fundamenta en un enfoque metodológico de carácter documental y descriptivo conforme a lo establecido por Hernández-Sampieri & Mendoza (2018). Este enfoque fue seleccionado por la naturaleza exploratoria del estudio, cuyo objetivo principal es actualizar y mejorar la norma COVENIN 2500-93 mediante una comparación sistemática con estándares internacionales vigentes y la recopilación de percepciones de expertos en el campo del mantenimiento industrial. Este proceso permitió obtener una comprensión profunda y detallada de las deficiencias y oportunidades existentes en la gestión de mantenimiento. Para lograr esto, la metodología se estructuró en las siguientes etapas interrelacionadas para la recolección, procesamiento y análisis de datos.

### 3.1 Recolección de datos

En este estudio, se emplearon dos técnicas para la recolección de datos: la revisión documental y la aplicación de encuestas (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). Ambas técnicas fueron seleccionadas por su capacidad para proporcionar información relevante y de alto valor sobre la norma COVENIN 2500-93 y el estado actual de la gestión de mantenimiento, en cumplimiento con el objetivo de la investigación.

#### 3.1.1 Revisión documental

La revisión documental consistió en una búsqueda exhaustiva en base de datos académicas y bibliotecas digitales de acceso libre para analizar la aplicabilidad de la norma COVENIN 2500-93 en proyectos recientes. Esta revisión permitió identificar los sectores industriales donde se ha utilizado (como manufactura, minería, construcción y transporte), su alcance geográfico (principalmente Venezuela y también en países como Costa Rica, Ecuador, Perú y Colombia), y los distintos propósitos de su aplicación, evidenciando su versatilidad como herramienta metodológica y marco de referencia en diversos contextos industriales. Se analizaron tanto proyectos académicos (Márquez, 2024; Vargas, 2024; Mendoza, 2023; Morales, 2023; Olmos & Morón, 2018; Solano, 2020; Olivo, 2019) como proyectos de investigación (Salas et al., 2024; Mota, 2021; Díaz et al. 2019; Cárdenas et al., 2018; Parida et al., 2015; Ortiz et al., 2013; Castillo, 2011) que han aplicado la norma.

#### 3.1.2 Aplicación de la encuesta

La encuesta fue diseñada en formato digital, utilizando Google Forms®, con el propósito de complementar la información documental con la percepción directa de expertos en gestión de mantenimiento. Se seleccionaron 33 profesionales, provenientes del sector industrial y académico, con al menos 5 años de experiencia en el área, mediante un muestreo intencional no probabilístico, una técnica apropiada para estudios cualitativos y de expertos, donde el objetivo es obtener información rica y profunda de individuos con conocimiento específico, en lugar de una representatividad estadística de una población más amplia (Ruiz, 2012).

El número de 33 participantes se consideró adecuado dentro del dominio de la gestión de mantenimiento, asegurando la saturación de categorías de información y la validez de los resultados al incluir profesionales tanto en el ámbito industrial como académico. Esto permitió una evaluación multifacética de las limitaciones y oportunidades de la norma frente a las prácticas modernas.

El cuestionario estuvo compuesto por preguntas cerradas y abiertas, abordando aspectos clave relacionados con la norma COVENIN 2500-93, tanto como su nivel de conoci-

miento y uso, la percepción de su utilidad y relevancia en el contexto industrial actual, la necesidad actualización y su comparación con otras normas internacionales del sector.

Adicionalmente, se reconoce que el uso de un muestreo intencional no probabilístico puede introducir un potencial sesgo de autoselección. Esto implica que los participantes que decidieron responder la encuesta podrían tener un interés particular en el tema de la gestión de mantenimiento o en la norma COVENIN 2500-93, lo podría influir en sus percepciones. Aunque se buscó la diversidad en la experiencia (sectorial y geográfica) y en el rol (industrial y académico) de los 33 profesionales para mitigar este efecto, los resultados reflejan primariamente las perspectivas de un grupo de expertos motivados y conocedores, y no son directamente generalizables a la totalidad de la población de profesionales del mantenimiento en Latinoamérica.

### 3.2 Procesamiento y análisis de datos

#### 3.2.1 Análisis comparativo documental

Los datos obtenidos de la revisión documental fueron organizados y sintetizados para identificar patrones, limitaciones y áreas de obsolescencia de la norma COVENIN 2500-93. Se realizó un análisis comparativo sistemático entre los factores clave de la norma venezolana (como la organización de la empresa, la organización de la función de mantenimiento, la planificación, programación y control de actividades, y la competencia del personal), y los requisitos y directrices establecidos por normas internacionales vigentes. Específicamente, se comparó con los estándares de gestión de activos (ISO 55000), gestión de calidad (ISO 9000), gestión ambiental (ISO 14000) y seguridad y salud en el trabajo (ISO 45001), así como con la terminología de mantenimiento (UNE-EN 13306:2018). Este análisis permitió identificar explícitamente los vacíos y procedimientos obsoletos de la norma COVENIN 2500-93 en relación con las tendencias y mejores prácticas actuales de la industria.

#### 3.2.2 Análisis de resultados de la encuesta

Las respuestas de la encuesta fueron procesadas mediante análisis descriptivo para cuantificar las percepciones y opiniones de los expertos, calculando porcentajes de uso, conocimiento y opiniones sobre la adecuación de la norma COVENIN 2500-93. Las respuestas a las preguntas abiertas fueron sometidas a un análisis cualitativo temático para identificar las razones subyacentes a las percepciones expresadas, particularmente en relación con la necesidad de modernización y las características específicas de la norma que requieren atención urgente.

## 4 Resultados

Esta sección presenta los hallazgos clave derivados de la revisión documental exhaustiva de la norma COVENIN 2500-93 y de la aplicación de encuestas a expertos en gestión de mantenimiento. A partir de este diagnóstico se detalla, en la siguiente sección, la propuesta del manual de evaluación de sistemas de mantenimiento, diseñado para abordar las necesidades actuales de la industria y alinearse con los estándares internacionales.

### 4.1 Análisis y diagnóstico de la gestión de mantenimiento

Los datos recolectados mediante la revisión documental y las encuestas revelan la necesidad de abordar dos aspectos fundamentales para el diseño de un manual actualizado para la evaluación de los sistemas de mantenimiento industrial. Estos incluyen la revisión de los factores de la norma COVENIN 2500-93 que inciden en la capacidad de gestión de mantenimiento, evaluando su pertinencia y posibles áreas de mejora, así como el análisis de procedimientos actuales de la norma para identificar vacíos, determinar los elementos que requieren actualización e incorporar los avances tecnológicos.

#### 4.1.1 Percepción de expertos sobre la norma COVENIN 2500-93

La aplicación de la encuesta a profesionales del sector industrial y académico complementó la información documental. De acuerdo con los resultados, 21 de 33 encuestados (63,6%) nunca han utilizado la norma COVENIN 2500-93 para evaluar los sistemas de mantenimiento, mientras que 12 de 33 (36,4%) si la han utilizado en algún momento. Este hallazgo indica que, aunque la norma existe y está disponible, su adopción práctica en la industria es limitada.

Quienes si han utilizado la norma, 10 de 12 (83,3%) destacaron la necesidad de modernizarla, señalando su estructura compleja, obsolescencia tecnológica y falta de incorporación de otros sistemas de gestión. Este resultado confirma que la norma no incorpora adecuadamente los avances tecnológicos recientes, afectando su aplicabilidad en el contexto actual.

Estos hallazgos empíricos, que revelan un bajo uso y una percepción generalizada de la desactualización de la norma, confirman las limitaciones teóricas de la COVENIN 2500-93 ya destacadas en la introducción del presente estudio. La falta de adaptación al contexto industrial actual, mencionada por la gran mayoría de los encuestados, subraya la necesidad de una herramienta de evaluación que integre los avances tecnológicos y las metodologías contemporáneas, como se propone en este artículo para una gestión más proactiva, eficiente y sostenible.

#### 4.1.2 Revisión de factores de la norma COVENIN 2500-93 que influyen en la capacidad de gestión de mantenimiento

La norma venezolana COVENIN 2500-93 ha sido una guía fundamental, pero su última actualización en 1993 hace necesaria la revisión de sus factores clave para una gestión efectiva frente a los desafíos y tecnologías actuales. La revisión comparativa con estándares internacionales vigentes permitió identificar las siguientes áreas:

- Organización de la empresa. La norma COVENIN 2500-93 reconoce la importancia de la estructura organizativa. Sin embargo, se requiere que el manual de evaluación actualice la necesidad de estructuras organizacionales flexibles que promuevan la agilidad y la rápida toma de decisiones, alineadas con normas internacionales como la ISO 9000, que fomenta una cultura de calidad y mejora continua.
- Organización de la función de mantenimiento. La norma COVENIN 2500-93 establece que la función de mantenimiento debe estar claramente organizada con roles y responsabilidades específicas. No obstante, la gestión de activos ha ganado mayor relevancia con normas como la ISO 55000, que conciben el mantenimiento como una inversión estratégica para la confiabilidad y eficiencia. Por lo tanto, el manual propuesto debe integrar los principios de gestión de activos para maximizar el valor de éstos en función de la estrategia global de la empresa.
- Planificación, programación y control de las actividades de mantenimiento. La norma COVENIN 2500-93 enfatiza la importancia de la planificación, programación y control para reducir fallas imprevistas y optimizar tiempos. Sin embargo, se enfoca principalmente en el mantenimiento preventivo y correctivo, omitiendo enfoques modernos como el mantenimiento basado en condición y el mantenimiento predictivo, que utilizan datos en tiempo real. La inclusión de estos métodos y el uso de sistemas de gestión de mantenimiento computarizados (CMMS) son importantes para una gestión más efectiva y basada en datos.
- Competencia del personal. La norma COVENIN 2500-93 establece requisitos mínimos de capacitación, pero estos son insuficientes ante la rápida evolución tecnológica. Es imperativo incluir requisitos de capacitación continua para operar equipos avanzados, utilizar herramientas de diagnóstico modernas y desarrollar habilidades de gestión para una planificación y administración eficiente de recursos, incluyendo el uso de CMMS y análisis de indicadores clave de desempeño (KPIs).

#### 4.1.3 Procedimientos de la norma COVENIN 2500-93. Áreas de mejora

La norma COVENIN 2500-93 establece procedimientos para la planificación, programación, ejecución, registro

y documentación de actividades de mantenimiento preventivo y correctivo. La revisión de estos procedimientos permite identificar áreas de obsolescencia, inadecuación y vacíos en relación con las tendencias actuales.

- Aspectos que requieren de actualización inmediata:
  - Enfoque de aplicabilidad. La norma se fundamenta en el tiempo o en el uso de los equipos, sin considerar el estado real de los activos (mantenimiento basado en condición y predictivo).
  - Análisis de fallas. No se establece procedimientos para el análisis de fallas, limitando la identificación y mitigación de causas raíz.
  - Indicadores clave de desempeño (KPIs). No se considera la evaluación de la efectividad de las actividades, el control de su desempeño y la identificación de áreas de mejora.
  - Documentación. Los procedimientos son básicos y manuales, dificultando el análisis de tendencias y el seguimiento de indicadores.
- Vacíos identificados:
  - Gestión de activos. La norma no incorpora un enfoque de gestión de activos a lo largo de su ciclo de vida, esencial en normas como la ISO 55000.
  - Sostenibilidad y eficiencia energética. Ausencia de procedimientos relacionados con aspectos promovidos por la norma ISO 14000, que buscan minimizar el consumo energético y reducir las emisiones de carbono.
  - Seguridad y salud laboral. Ausencia de medición de riesgos en el lugar de trabajo contemplados en la norma ISO 45001 para garantizar un entorno de trabajo seguro y saludable
- Incorporación de avances tecnológicos. La norma COVENIN 2500-93 fue desarrollada en un contexto previo a la digitalización avanzada y el uso intensivo de datos. La falta de integración de estas tecnologías emergentes limita su efectividad. Es necesario una estructura más adaptable y eficiente para la gestión de mantenimiento, que incluya estas tecnologías para mejorar la competitividad.

Las limitaciones y vacíos identificados en los procedimientos de la norma COVENIN 2500-93 particularmente en la ausencia de un enfoque integral de gestión de activos, sostenibilidad y eficiencia energética, seguridad y salud laboral, y la incorporación de avances tecnológicos, corroboran la argumentación inicial del estudio sobre la necesidad de actualización. Estos hallazgos empíricos refuerzan la urgencia de adoptar un enfoque metodológico que se alinee con los estándares internacionales vigentes como la ISO 55000 para la gestión de activos, ISO 14000 para la gestión ambiental y la ISO 45001 para la seguridad y salud en el trabajo. La brecha entre la norma existente y las mejores prácticas internacionales evidencia que su marco es insufi-

ciente para garantizar una gestión proactiva, eficiente y sostenible en el contexto industrial moderno.

## 5 Diseño del manual de evaluación de sistemas de mantenimiento

El manual propuesto, cuyo diseño busca modernizar los procedimientos de mantenimiento establecidos en la norma COVENIN 2500-93, se alinea con los estándares internacionales y las mejores prácticas actuales. Este manual ofrece una guía práctica y detallada para la implementación de un sistema de mantenimiento eficiente y sostenible en el entorno industrial, reformulando procedimientos obsoletos, incorporando nuevos factores y desarrollando una estructura práctica.

### 5.1 Estructura del manual

El manual está organizado en varias secciones clave que facilitan su comprensión y aplicación:

- Introducción. Expone el propósito del manual, antecedentes y normativas de referencia, relevantes para la gestión de mantenimiento.
- Terminología y definiciones. Proporciona los fundamentos teóricos y conceptuales.
- Metodología de evaluación. Detalla los métodos empleados, destacando el uso del ciclo Deming y el modelo de madurez organizacional.
- Áreas de evaluación del sistema de mantenimiento. Establece las 12 áreas clave a considerar, que incluyen: gestión organizacional y estratégica; estructura y gestión de la función de mantenimiento; planeación y programación de actividades; mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo; desarrollo de competencias y capacitación continua; control y evaluación de actividades; sostenibilidad y eficiencia energética; seguridad y salud ocupacional; sistemas de información; y apoyo logístico.
- Procedimientos de evaluación. Describe las etapas del proceso, que comprenden la revisión y auditoría inicial, la evaluación del sistema, el análisis del nivel de madurez, la definición de los objetivos de mejora, la elaboración del plan de acción y la redacción del informe de auditoría.
- Modelo de ficha de evaluación. Presenta una herramienta práctica para una evaluación estructurada.

Cabe destacar que, debido a su extensión, el contenido completo del manual ha sido redactado de manera separada de este artículo, bajo el nombre de *Sostenibilidad y eficiencia energética en la industria. Metodología para evaluar sistemas de mantenimiento* (Salas et al, 2026), y puede consultarse digitalmente en la siguiente página web del Sello Editorial Publicaciones del Vicerrectorado Académico de la Universidad de Los Andes (ULA):

<http://bdigital2.ula.ve:8080/xmlui/654321/24086>

### 5.2 Aplicación y funcionalidad del manual

El manual integra los principios del ciclo Deming (PHVA) y del modelo de madurez organizacional. El ciclo Deming, que incluye las etapas de planificar, hacer, verificar y actuar, es fundamental para la mejora continua en la gestión de mantenimiento. El modelo de madurez organizacional evalúa el nivel de desarrollo de una organización en la gestión de mantenimiento, dividiendo el progreso en cinco niveles: nivel 0 (deficiente), nivel 1 (básico), nivel 2 (estándar), nivel 3 (avanzado) y nivel 4 (óptimo).

La estructura del manual permite una evaluación integral de las áreas clave del sistema de mantenimiento, organizadas en torno a cuatro dimensiones fundamentales del PHVA:

- Planificación efectiva de las actividades de mantenimiento, alineadas con los objetivos operativos.
- Programación eficiente de las tareas para optimizar recursos y tiempos.
- Ejecución adecuada de las actividades mediante procedimientos estandarizados y mejores prácticas.
- Control de las actividades y evaluación del desempeño del sistema, facilitando la toma de decisiones y la mejora continua.

### 5.3 Impacto en la competitividad de las empresas

El uso del manual de evaluación propuesto genera un impacto significativo en la competitividad de las empresas, especialmente en la gestión de mantenimiento industrial. Su implementación contribuye a:

- Mejora en la eficiencia operativa. Moderniza procedimientos, optimiza planificación y ejecución de las actividades, reduce tiempos de inactividad y mejora el uso de recursos.
- Reducción de costos. La incorporación de tecnologías avanzadas permite la detección temprana de fallas, disminuyendo errores, interrupciones y costos asociados a reparaciones imprevistas. El enfoque en mantenimiento predictivo y preventivo prolonga la vida útil de los equipos, reduciendo costos por acciones correctivas.
- Estandarización y calidad. Alineado con normas internacionales como ISO 55000, ISO 9000, ISO 14000, ISO 45001 e ISO 31000, garantiza la consistencia y calidad de las operaciones, simplifica la formación del personal y fomenta la mejora continua.
- Sostenibilidad y eficiencia energética. La integración de estos criterios minimiza el impacto ambiental y reduce los costos operativos relacionados con el consumo de energía.
- Simplificación de la documentación. Reduce la carga administrativa, permitiendo a las empresas enfocarse en actividades de mayor valor estratégico.
- Acceso a nuevos mercados y reputación. El cumpli-

miento de estándares internacionales abre oportunidades comerciales y fortalece la percepción de confiabilidad y compromiso con la calidad y sostenibilidad.

Innovación y adaptabilidad. Fomenta la adopción de nuevas tecnologías y la agilidad para adaptarse a los cambios del entorno, manteniendo la competitividad a largo plazo.

### 5.4 Limitaciones y recomendaciones para la validación del manual

Este estudio se centró en el diseño conceptual del manual y su ficha de evaluación para sistemas de mantenimiento industrial, integrando criterios de las normas COVENIN, UNE e ISO. Sin embargo, no se ejecutó una prueba piloto que permitiera estimar métricas estadísticas de validez y confiabilidad del instrumento, lo cual constituye una limitación metodológica por atender en futuras investigaciones (Hernández, Fernández & Baptista, 2014; Creswell, 2017).

Para garantizar la robustez del instrumento, se sugiere aplicar procedimientos de validación ampliamente usados en ingeniería y gestión:

- Validez de contenido (CVR de Lawshe). Evalúa si cada ítem es esencial para el constructo. Su cálculo requiere de un panel de expertos que clasifique cada ítem como esencial, útil o no necesario. El coeficiente de validez de contenido se determina según la siguiente ecuación:

$$CVR = \frac{n_e - N/2}{N/2} \quad (1)$$

donde  $n_e$  es el número de expertos que consideran el ítem esencial y  $N$  el total de expertos (Lawshe, 1975).

- Consistencia interna ( $\alpha$  de Cronbach). Mide la homogeneidad de los ítems. El coeficiente se obtiene mediante:

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left( 1 - \frac{\sum \sigma_i^2}{\sigma_T^2} \right) \quad (2)$$

donde  $k$  es el número de ítems,  $\sigma_i^2$  la varianza de cada ítem y  $\sigma_T^2$  la varianza total (Cronbach, 1951). El valor de  $\alpha$  indicará el tipo de consistencia entre los ítems.

- Confiabilidad interevaluador (Kappa/ICC). Evalúa el acuerdo entre evaluadores independientes que aplican la ficha. Se recomienda usar el coeficiente kappa para variables categóricas y usar el coeficiente de correlación intraclass (ICC), para puntuaciones continuas. Si se aplica el ICC, debe indicarse el modelo, número de evaluadores y el número de unidades evaluadas (Creswell, 2017). Por ejemplo, si se considera que los evaluadores son representativos de una población de posibles jueces, se sugiere usar el ICC con un modelo de dos vías aleatorio (ICC (2,1)):

$$ICC(2,1) = \frac{MS_R - MS_E}{MS_R + (k-1)MS_E + \frac{k(MS_C - MS_E)}{n}} \quad (3)$$

donde  $k$  es el número de áreas y  $n$  la varianza total (Cronbach, 1951; citado en Hernández et al., 2014).

#### 5.4.1 Ejemplo ilustrativo (*worked-out*)

Aunque este trabajo no incluye datos empíricos para calcular dichos indicadores, se presenta a continuación un ejemplo ilustrativo (*worked-out*) de cómo se aplicaría la ficha en una empresa (Véase tabla 1) con puntajes hipotéticos por área y nivel de madurez. Además, muestra cómo se calculan los indicadores descritos anteriormente. Este ejemplo solo tiene fines demostrativos (no sustituye datos reales) y busca facilitar la comprensión del procedimiento proporcionando datos en la ficha de evaluación del manual propuesto (Ver tabla 2).

Los indicadores mostrados en la tabla 2 permiten inferir lo siguiente para el ejemplo ilustrativo:

- Nivel de madurez global estimado. Con un puntaje total global de 118, el sistema de mantenimiento se encuentra en un nivel 3 (avanzado). Este valor se encuentra en el

rango de puntaje establecido en el manual propuesto (97-144). También debe tenerse en cuenta que se puede determinar el nivel de madurez por área de evaluación del sistema.

- Validez de contenido de un ítem (área clave del sistema de mantenimiento). Para un panel de 6 expertos, de los cuales 5 han considerado el área como esencial, el valor  $CVR \geq 0,62$ , por lo cual se considera aceptable.
- Consistencia interna de los ítems. El valor de  $\alpha$  de Cronbach da como resultado 0,827 (consistencia buena), considerando las doce áreas como observaciones y los cuatro dominios PHVA como ítems. Esto quiere decir que los cuatro dominios PHVA se comportan de manera suficientemente coherente como escala técnica para diagnóstico (Cronbach, 1951).
- Confiabilidad interevaluador. El valor de ICC se determina usando un modelo [2.1] entre dos evaluaciones (con una segunda evaluación sintética para ilustrar el cálculo, no se muestra) y aplicando ANOVA de dos vías de manera aleatoria. El resultado de este indicador es de 0,939 que implica un acuerdo excelente.

**Tabla 1.** Ejemplo de aplicación de datos usando la ficha de evaluación del manual propuesto.

Área de evaluación	Planificar	Hacer	Verificar	Actuar	Puntaje Área
Gestión organizacional y estratégica	3	3	2	3	11
Estructura y gestión de la función de mantenimiento	3	3	2	2	10
Planeación y programación	2	3	3	4	12
Mantenimiento correctivo	2	4	3	4	13
Mantenimiento preventivo	3	3	3	3	12
Mantenimiento predictivo	2	2	2	3	9
Desarrollo de competencias y capacitación continua	2	2	1	2	7
Control y evaluación	3	2	1	1	7
Sostenibilidad y eficiencia energética	1	1	1	1	4
Seguridad y salud ocupacional	3	3	2	3	11
Sistemas de información	3	3	2	2	10
Apoyo logístico	3	3	3	3	12

Fuente: Elaboración propia a partir de la ficha del manual.

**Tabla 2.** Resultados de la aplicación de la ficha de evaluación del manual propuesto.

Indicador de evaluación y desempeño	Puntaje
Puntaje total global (promedio de puntaje por área)	118
CVR de Lawshe para una determinado ítem (área de evaluación) del manual	0,67
Consistencia interna ( $\alpha$ de Cronbach) de los cuatro dominios PHVA (observación = cada área)	0,827
Confiabilidad interevaluador (ICC [2,1]) entre dos evaluaciones (segunda evaluación sintética de demostración)	0,939

Fuente: Elaboración propia a partir de la ficha del manual.

#### 5.4.2 Lineamientos para la aplicación e interpretación de los indicadores de validación

Con el objetivo de asegurar la calidad técnica del instrumento y ofrecer pautas claras para su empleo en estudios piloto y auditorías internas, a continuación se describen los lineamientos para aplicar e interpretar los principales indicadores de validación: validez de contenido, consistencia interna y confiabilidad interevaluador. La selección de estos indicadores responde a su uso extendido en investigación aplicada y a su compatibilidad con la naturaleza del instrumento propuesto (ficha de evaluación por PHVA en 12 áreas), así como a las recomendaciones metodológicas ampliamente documentadas (Cronbach, 1951; Lawshe, 1975; Creswell, 2017; Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

- a. Validez de contenido (CVR de Lawshe). El propósito de este indicador es determinar si cada criterio o ítem del instrumento es esencial para valorar adecuadamente la función de mantenimiento. Este énfasis en la relevancia conceptual permite depurar el contenido antes de su uso operativo a gran escala.

Para su aplicación se requiere un panel de expertos conformados entre 6 a 9 especialistas (en la medida conformado por un grupo heterogéneo entre 6 a 9 especialistas) con experiencia acreditada en mantenimiento, gestión de activos y auditoría. Cada experto emitirá un juicio clasificando cada área como esencial, útil o no necesaria en el sistema de mantenimiento de la empresa. Se recomienda mantener aquellas áreas que superan el umbral y revisar/rediseñar las que se encuentren por debajo (redefinición, mayor especificidad de evidencia, mejora de redacción).

En el informe se debe reportar tamaño y perfil del panel, procedimiento de selección, confidencialidad del proceso, cálculo del CVR por ítem, porcentaje de ítems que superan el umbral, toma de decisiones (retención/eliminación) y justificaciones.

- b. Consistencia interna ( $\alpha$  de Cronbach). La intención de este indicador es estimar la homogeneidad de los ítems que componen una escala, es decir, si los dominios PHVA se comportan de forma coherente al medir un mismo constructo.

Para su aplicación se deben considerar las 12 áreas como observaciones y los cuatro dominios PHVA como ítems. En el contexto de ingeniería y auditoría de mantenimiento, se consideran como referencias operativas:  $\alpha \geq 0,70$  (consistencia buena) y  $\alpha \geq 0,80$  (consistencia muy buena). Para aquellos ítems cuyos valores de  $\alpha$  se encuentren por debajo de 0,70 requieren de la revisión por baja correlación interna (solapamientos, ambigüedad o divergencia conceptual) o el fortalecimiento de la guía de evidencias por áreas para estandarizar criterios de evaluación (Creswell, 2017; Hernán-

dez-Sampieri & Mendoza, 2018).

En el informe se debe reportar el valor del  $\alpha$  global de la escala PHVA (y por subescalas si aplica), número de observaciones (12 áreas), breve nota interpretativa (por ejemplo, “homogeneidad adecuada entre dominios” o “se detectaron dominios con contribución débil”).

- c. Confiabilidad del interevaluador (Kappa/ICC). El objetivo de este indicador es verificar el grado de acuerdo entre dos o más evaluadores independientes al aplicar la ficha, es crítico en auditorías y *benchmarking* interno, donde la reproducibilidad del juicio es un requisito.

Para su aplicación se debe tener en cuenta un par de criterios. En primer lugar, cuando la evidencia se registra como categórica (por ejemplo, presencia/ausencia de un documento o práctica), se recomienda usar kappa de Cohen u otro coeficiente afin; en cambio, si se trata de puntuaciones continuas (por ejemplo, totales por área), utilizar el coeficiente de correlación interclase (ICC). En segundo lugar, se debe tener en cuenta que en auditorías con evaluadores considerados aleatorios respecto de una población de posibles auditores, el modelo apropiado suele ser ICC [2,1] (dos vías aleatorio, medida individual). En este caso, se sugiere especificar el modelo, el número de evaluadores y el número de unidades (áreas/organizaciones) (Creswell, 2017).

Para la interpretación de resultados, como guía práctica debe considerarse que un  $ICC \geq 0,75$  indica un bien acuerdo;  $ICC \geq 0,90$  se considera excelente. En variables categóricas,  $kappa \geq 0,60$  suele interpretarse como moderado-bueno y si es mayor o igual a 0,80 como muy bueno. En todos los casos, conviene realizar sesiones calibración previas con ejemplos de evidencias para reducir la variabilidad entre auditores.

En el informe debe reportarse cantidad de organizaciones a las cuales se le aplicaron la ficha de evaluación (se recomienda que sea mayor a dos organizaciones); registro de puntuaciones de nivel de madurez, tipo de coeficiente empleado (Kappa/ICC), modelo de ICC utilizado, tamaño muestral (unidades y evaluadores), valor del coeficiente con intervalo de confianza, y criterio interpretativo empleado.

La adopción sistemática de estos indicadores favorece la trazabilidad, comparabilidad y mejora continua del instrumento en contextos organizacionales diversos. En esta dase, los resultados *worked-out* incluidos en este artículo cumplen un fin demostrativo. En futuras aplicaciones empíricas, se recomienda sustituir las evidencias ilustrativas por datos reales de pilotaje y reportar los valores obtenidos con el mismo nivel de detalle, siguiendo los estándares de presentación recomendados (Cronbach, 1951; Lawshe, 1975; Creswell, 2017; Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

### 5.5 Alineación con normas y tendencias internacionales

En un entorno industrial marcado por la aceleración tecnológica, la presión competitiva y los compromisos globales de sostenibilidad, la pertinencia de un manual de evaluación no solo depende de su solidez interna, sino también de su capacidad para integrarse y mantenerse coherente con estándares reconocidos y con las mejores prácticas emergentes. Por ello, además del sustento metodológico ya desarrollado, se presenta a continuación un análisis de alineación que sitúa la propuesta frente a marcos normativos y tendencias internacionales, con el doble propósito de potenciar su transferibilidad a diferentes contextos organizacionales y de garantizar su vigencia ante los desafíos de la industria 4.0 y de la agenda climática.

Esta alineación (*benchmark*) externa permite articular los hallazgos del desarrollo de manual con sistemas de gestión de activos y energía, con modelos de procesos y KPIs normalizados, con enfoques de ingeniería de mantenimiento a lo largo del ciclo de vida y con metodologías avanzadas (*RCM/TPM*) que escalan la mejora desde el diagnóstico hacia decisiones operacionales y estratégicas. Asimismo, habilita la trazabilidad de la evidencia (especialmente en datos, competencias y seguridad), fortalece la comparabilidad de resultados entre organizaciones y sectores, y ofrece un marco explícito para reportar contribuciones a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). De tal manera que el siguiente *benchmark* no altera el contenido del manual, sino que aporta directrices de adopción y referencias cruzadas con el fin de enriquecer su aplicación, facilitando la interoperabilidad con otros sistemas de gestión y elevando el impacto de las acciones de mejora que se derivan del proceso de evaluación.

- Gestión de activos y datos. La norma ISO 55001:2024 refuerza la toma de decisiones sobre activos (numeral 4.5) y la gestión de datos e información (numeral 7.7), y separa explícitamente riesgos y oportunidades dentro de la planificación, consolidando el enfoque de ciclo de vida y la creación de valor (alineada con la norma ISO 55000). En este sentido, la ficha y la matriz PHVA del manual soportan la trazabilidad de evidencias y el uso de datos para la decisión, mientras que el presente artículo recomienda complementar su aplicación con las guías recientemente publicadas en la norma ISO 55012:2024 (personas y competencias) e ISO 55013:2024 (gestión de datos) para robustecer la participación del personal y la calidad del dato en la gestión de activos.
- Procesos e índices clave de desempeños europeos. El manual ya incorpora procesos y KPIs típicos. Para asegurar compatibilidad internacional, se sugiere que la organización que aplique la ficha documente un mapa de correspondencia con la norma UNE-EN 17007:2018 (modelo de proceso e interrelaciones) y seleccione los

KPIs normalizados de la norma UNE-EN 15341:2020+A:2023 de acuerdo con prioridades y nivel de madurez.

- Ingeniería de mantenimiento en el ciclo de vida. Se propone vincular los planes de acción derivados de la evaluación con actividades de ingeniería de mantenimiento definidas en la norma UNE-EN 17666:2024 (etapas: conceptual, desarrollo, operación y retiro), incorporando criterios de mantenibilidad desde diseño, *RAMS* (Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad) y costo total de propiedad (*TCO*) en las decisiones de mejora.
- Metodologías avanzadas. La evaluación con la ficha puede servir como disparador para iniciar mantenimiento centrado en confiabilidad (*RCM*) en activos críticos (norma IEC 60300-3-11) y, cuando proceda, para desplegar pilares de mantenimiento productivo total (*TPM*) en áreas con alto potencial de participación operativa. Se recomienda explicitar en el informe cómo las dificultades detectadas conducen a análisis de criticidad, modos de falla, consecuencias y tareas (*RCM*), o a iniciativas *TPM* de mejora continua.
- Industria 4.0/ Mantenimiento 4.0. El manual contempla mantenimiento predictivo (*PdM*) y gestión de mantenimiento asistida por computador (*CMMS*); y en el nivel 4 de madurez impulsa tecnologías como internet de las Cosas (*IoT*), gemelos digitales (*DT*) e inteligencia artificial. Se sugiere incorporar (en el informe o anexo) una tabla de evidencias tecnológicas por área (sensores, analítica de datos, *PdM*, estimación de la vida útil remanente (*RUL*), *dashboards*, integración *CMMS-DT*), fortaleciendo competitividad y sostenibilidad del mantenimiento.
- Energía y clima. Se recomienda que, al aplicar el área 9 del manual (sostenibilidad y eficiencia energética), la organización alinee su evaluación con la norma ISO 50001:2018 y la enmienda 1:2024, que introduce la consideración explícita del cambio climático en los sistemas de gestión (cláusulas 4.1 y 4.2). Esto refuerza el vínculo entre desempeño energético, riesgos climáticos y decisiones de mantenimiento.
- Alineación con los ODS de la Agenda 2030. La propuesta del manual se alinea con la Agenda 2030 en tres objetivos clave: el ODS 9 (industria, innovación e infraestructura), el ODS 12 (producción y consumo responsables) y el ODD 13 (acción por el clima). En particular, la meta 9.4 del ODS 9 impulsa la actualización sostenible de industrias, enfatizando la eficiencia en el uso de los recursos y la adopción de tecnologías limpias, mientras que los ODS 12 y 13 articulan la reducción de impactos ambientales y la integración del cambio climático en políticas y sistemas de gestión (energía, riesgo y resiliencia).  
Con el fin de operacionalizar esta alineación en auditorías y reportes, se sugiere desarrollar un mapeo explícito entre las 12 áreas de evaluación de manual y las metas pertinentes de los ODS citados. Este mapeo permite

que la empresa: identifique evidencias por áreas (políticas, KPIs, proyectos, registros); selecciones indicadores de apoyo (por ejemplo, huella del carbono, intensidad energética, tasas de residuos e incidentes de seguridad); y la vinculación con el plan de acción sugerido en el manual propuesto para el cumplimiento de los compromisos de sostenibilidad y clima en la organización.

## 6 Conclusión

En Este estudio abordó la necesidad de desarrollar un manual de evaluación de sistemas de mantenimiento industrial alineado con los estándares internacionales y las mejores prácticas vigentes. La metodología, sustentada en una revisión documental exhaustiva, análisis comparativos y el juicio de expertos, permitió identificar las áreas críticas de mejora e incorporar las tendencias tecnológicas más recientes. Al integrar el ciclo Deming (PHVA) y modelos de madurez organizacional, la herramienta no solo ofrece una estructura para la gestión proactiva y la mejora continua, sino que facilita la optimización de procesos y la reducción de costos operativos, fortaleciendo la competitividad en un entorno globalizado. En consecuencia, el diseño final del manual trasciende las referencias clásicas citadas al incorporar dimensiones contemporáneas como la sostenibilidad, la eficiencia energética y la transformación digital, asegurando una alineación estricta con los estándares internacionales ISO.

No obstante, en su fase actual de desarrollo, el manual debe considerarse una propuesta metodológica cuyo alcance está sujeto a validación empírica a gran escala. Esta limitación refleja un compromiso con el rigor científico y la necesidad de comprobar su eficacia, adaptabilidad y pertinencia en diversos contextos industriales. Con este fin, se elaboró un *benchmark* externo que vincula la aplicación del manual con normas y tendencias internacionales emergentes identificadas durante el proceso de investigación, con el objetivo de facilitar su adopción en entornos con estructuras múltiples. Se espera que este manual sea una herramienta valiosa para que las organizaciones enfrenten los desafíos y aprovechen las oportunidades del dinámico entorno industrial actual. En tal sentido, se recomienda que futuras investigaciones incluyan pruebas piloto y estudios de caso en diversos sectores industriales, a fin de validar, ajustar y consolidar la metodología. Estas etapas permitirán establecer una hoja de ruta para su evolución continua, asegurando su alineación con las realidades operativas y las exigencias tecnológicas emergentes.

## Referencias

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2004). *UNE 66178:2004 – Sistemas de gestión de la calidad. Guía para la gestión del proceso*

*de mejora continua.*

- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2018a). *UNE-EN 13306:2018 – Mantenimiento, Terminología del mantenimiento.*
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2018b). *UNE-EN ISO 19011:2018 - Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión.* ISO
- Cárdenas, R.; Díaz, J. y Zambrano, H. (2018). Estado de la gestión de mantenimiento en las ladrilleras de la zona metropolitana de Cúcuta (Colombia): Propuesta de uso de indicadores. *Revista Científica UNET*, 30(2), 351-360.  
[https://www.researchgate.net/publication/329170912\\_ESTADO\\_DE\\_LA\\_GESTION\\_DE\\_MANTENIMIENTO\\_EN\\_LAS\\_LADRILLERAS\\_DE\\_LA\\_ZONA\\_METROPOLITANA\\_DE\\_CUCUTA\\_COLOMBIA\\_PROPUESTA\\_DE\\_USO\\_DE\\_INDICADORES\\_STATE\\_OF\\_MAINTENANCE\\_MANAGEMENT\\_IN\\_THE\\_METROPOLITAN\\_POTTER\\_Y\\_ZONE\\_OF](https://www.researchgate.net/publication/329170912_ESTADO_DE_LA_GESTION_DE_MANTENIMIENTO_EN_LAS_LADRILLERAS_DE_LA_ZONA_METROPOLITANA_DE_CUCUTA_COLOMBIA_PROPUESTA_DE_USO_DE_INDICADORES_STATE_OF_MAINTENANCE_MANAGEMENT_IN_THE_METROPOLITAN_POTTER_Y_ZONE_OF)
- Castillo, T. (2011). Gestión de mantenimiento de la red hospitalaria del estado Anzoátegui, caso: Hospital Universitario “Dr. Luis Razetti”. *CIENCIA ergo sum*, 18(2), 153-163.  
[https://www.researchgate.net/publication/291957399\\_Gestion\\_de\\_mantenimiento\\_de\\_la\\_red\\_hospitalaria\\_del\\_estado\\_Anzoategui\\_caso\\_Hospital\\_Universitario\\_Dr\\_Luis\\_Razetti](https://www.researchgate.net/publication/291957399_Gestion_de_mantenimiento_de_la_red_hospitalaria_del_estado_Anzoategui_caso_Hospital_Universitario_Dr_Luis_Razetti)
- Comisión Venezolana de Normas Industriales. (1993a). *COVENIN 2500-93: Manual para evaluar sistemas de mantenimiento en la industria.* FON-DONORMA.
- Creswell, J. W. (2017). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches.* Sage Publications.
- Cronbach, L. J. (1951). *Coefficient alpha and the internal structure of tests.* *Psychometrika*, 16(3), 297–334
- Díaz, A.; Villar, L.; Rodríguez, A. y Tamayo, J. (2019). Methodology for maintenance management based on diagnostic criteria. *Revista DYNA*, 86(211), 208-214.  
<http://doi.org/10.15446/dyna.v86n211.77704>
- ESingeniería. (s.f.). *Mantenimiento industrial 4.0: La revolución tecnológica.*  
<https://esingenieria.net/mantenimiento-industrial-4-0-la-revolucion-tecnologica/>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana Editores
- IBM. (s.f.). *¿Qué es la Industria 4.0?* IBM.

- <https://www.ibm.com/es-es/think/topics/industry-4-0>
- Indestan. (s.f.). *Evolución de la Industria 4.0 en el mantenimiento industrial*.  
<https://www.indestan.es/industria-4-0-mantenimiento-industrial/>
- International Organization for Standardization (2015a). *ISO 9001:2015 - Quality management systems: Requirements*. ISO.
- International Organization for Standardization (2015b). *ISO 14001:2015 - Environmental management systems: Requirements with guidance for use*. ISO.
- International Organization for Standardization (2018). *ISO 45001:2018 - Occupational health and safety management systems: Requirements with guidance for use*. ISO. International Organization for Standardization (2024).  
*ISO 55001:2024 - Asset management systems: Requirements*. ISO.
- Lawshe, C. H. (1975). *A quantitative approach to content validity*. *Personnel Psychology*, 28(4), 563–575
- Márquez Contreras, V. C. (2024). *Revisión y actualización de procedimientos en la norma COVENIN 2500-93* [Trabajo de grado en proceso de publicación, Universidad de Los Andes (Venezuela)].
- Mendoza, A. (2023). *Plan de gestión de mantenimiento de equipos de la línea de producción en una planta productora de formaldehído*. [Trabajo de grado, Universidad Tecnológica Indoamérica].  
<https://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/5539/1/MENDOZA%20QUEZADA%20ARTURO%20ALEXANDER.pdf>
- Mora Gutiérrez, A. (2010). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control*. Alfaomega.
- Morales, C. (2023). *Plan de mantenimiento preventivo para la línea de producción del triturado de plástico en la empresa de Proyecciones Plásticas Lirio del Campo, S.A.S.* [Trabajo de grado, Universidad Francisco de Paula Santander].  
[https://repositorio.ufps.edu.co/bitstream/handle/ufps/7131/TG\\_1121809%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufps.edu.co/bitstream/handle/ufps/7131/TG_1121809%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Mota, J. (2021). *Evaluación del sistema de gestión de mantenimiento basado en la Norma ISO 9001:2015 de calidad y confiabilidad a la sección de electricidad de un complejo refinador de PDVSA*. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 42(3), 369-378.  
<http://revistas.saber.ula.ve/index.php/cienciaeingenieria/article/download/17280/21921928439>
- Olivo Moya, J. G. (2019). *Diseño del plan de mantenimiento preventivo para maquinaria pesada del gobierno autónomo descentralizado del cantón Baños de Agua Santa*.  
<https://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/1072>
- Olmos, J. y Morón, P. (2018). *Plan de mantenimiento preventivo para los montacargas de Cervecería Polar C.A., agencia Valera, siguiendo los lineamientos de las normas COVENIN 2500-93 y 3049-93* [Trabajo de grado, Universidad Valle del Momboy].  
<https://repositorio.uvm.edu.ve/items/cdd55e2d-dea8-499c-965c-f00b2eb48ecf>
- Ortiz, A.; Rodríguez, C. y Izquierdo, H. *Gestión de mantenimiento en pymes industriales*. *Revista Venezolana de Gerencia (RVG)*, 18 (61), 86- 104.  
[https://www.researchgate.net/publication/337265327\\_Gestion\\_de\\_mantenimiento\\_en\\_pymes\\_industriales](https://www.researchgate.net/publication/337265327_Gestion_de_mantenimiento_en_pymes_industriales)
- Parida, A., Kumar, U. y Galar, D. (2015). *Performance measurement and management for maintenance: a literature review*. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 21(1), 2-33.  
<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/jqme-10-2013-0067/full/html>
- Ruiz Olabuénaga, J.I. (2012). *Metodología de la investigación cualitativa* (5ª ed.). Universidad de Deusto.  
<https://archive.org/details/ruiz-j-i.-metodologia-de-la-investigacion-cualitativa-2012>
- Salas, P.; Barboza, J.; Díaz, A.; Gallo, R. y León, F. (2024). *Gestión efectiva del mantenimiento industrial en las PYMES: retos y soluciones*. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 45(1), 59-70.  
[https://www.researchgate.net/publication/376170869\\_Gestion\\_efectiva\\_del\\_mantenimiento\\_industrial\\_en\\_las\\_PYMES\\_retos\\_y\\_soluciones\\_Effective\\_management\\_of\\_industrial\\_maintenance\\_in\\_SMEs\\_challenges\\_and\\_solutions](https://www.researchgate.net/publication/376170869_Gestion_efectiva_del_mantenimiento_industrial_en_las_PYMES_retos_y_soluciones_Effective_management_of_industrial_maintenance_in_SMEs_challenges_and_solutions)
- Salas, P.; Márquez, V.; León, F. (2026). *Sostenibilidad y eficiencia en la industria Metodología para evaluar sistemas de mantenimiento*. Publicaciones del Vicerrectorado Académico. Universidad de Los Andes (Venezuela).  
<http://bdigital2.ula.ve:8080/xmlui/654321/24086>
- Solano, A. (2020). *Diseño del modelo de gestión de mantenimiento para los equipos mineros La Chilena en Holcim Costa Rica*. [Trabajo de grado, Instituto Tecnológico de Costa Rica].  
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/12299>
- Vargas, J. (2024). *Diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado para incrementar la disponibilidad de los equipos críticos del bloque plano en una empresa de vidrio laminado automotriz* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería].  
[https://repositorio.uni.edu.pe/bitstream/20.500.14076/27733/1/vargas\\_cj.pdf](https://repositorio.uni.edu.pe/bitstream/20.500.14076/27733/1/vargas_cj.pdf)


---

**Recibido:** 10 de enero de 2026

**Aceptado:** 10 de marzo de 2026

**Márquez Contreras, Vanessa Caribay:** Ingeniero Mecánico, Universidad de Los Andes (Venezuela).

Email: [vanessacmc19@gmail.com](mailto:vanessacmc19@gmail.com)

 <https://orcid.org/0009-0004-4031-5223>

**Salas Velázquez, Pedro Arístides:** Ingeniero Mecánico, Universidad Nacional Experimental del Táchira ((UNET, Venezuela). Magíster Scientiae en Ingeniería Mecánica, mención Diseño y Manufactura (ULA). Magíster Scientiae en Ingeniería de Mantenimiento (ULA). Profesor Agregado con dedicación exclusiva Universidad de Los Andes, Venezuela. Colaborador externo para la Universidad Internacional de Valencia (VIU), España. Candidato al grado de Doctor en Ciencias Aplicadas por la Universidad de los Andes, con investigación doctoral centrada en el desarrollo de modelos de mantenimiento predictivo para máquinas rotativas, asistidos por inteligencia artificial.

 <https://orcid.org/0000-0003-2210-3046>

**León Oviedo, Francisco Manuel:** Ingeniero Mecánico, Universidad de Los Andes (ULA, Venezuela). Magíster Scientiae en Ingeniería de Mantenimiento (ULA). Magíster Scientiae (MSc) y Philosophiae Doctor (ph.D) en Ingeniería Mecánica, University of South Florida (USA). Profesor Titular con dedicación exclusiva Universidad de Los Andes, Venezuela.

Email: [fleon@ula.ve](mailto:fleon@ula.ve) [fleonovi@gmail.com](mailto:fleonovi@gmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0001-7706-5740>