

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

**ESTADO DEL ARTE DE LA NORMA ISO 13379-1:2012: ANÁLISIS DE
PUBLICACIONES Y APLICACIONES EN EL DIAGNÓSTICO DE CONDICIONES DE
MÁQUINAS**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Ingeniero en Mantenimiento Industrial

Alumno: Luis Patricio Fernández Sepúlveda

Profesor Guía: MCs Ing. Pablo Duque Ramírez

2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Estado del arte de la norma ISO 13379-1:2012: Análisis de publicaciones y aplicaciones en el diagnóstico de condiciones de máquinas

Nombre del candidato(a): Luis Fernández Sepúlveda

Carrera / Grado: Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Campus: Sede Viña del Mar _____ Departamento: Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, MCs Ing. Pablo Duque Ramírez, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

6 meses 12 meses 2 años 3 años 5 años 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 28-10-25

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 27/10/2025

Firma:

RESUMEN

En el presente estudio se analizó el estado del arte de distintos tipos de documentos técnicos que utilizan como referencia la norma ISO 13379-1:2012 “Monitorización del estado y diagnóstico de máquinas – Técnicas de interpretación y diagnóstico de datos” (Organización Internacional de Normalización (ISO)). A través de una revisión sistemática de literatura, complementada con estudios de caso, se identificaron las prácticas más relevantes vinculadas a la aplicación de la norma mencionada anteriormente. La búsqueda se realizó en bases de datos académicas, lo que permitió obtener inicialmente 21 documentos relacionado: posteriormente mediante criterios de inclusión y exclusión definidos en función de pertinencia temática, idioma y acceso al texto completo, se depuró la muestra hasta obtener un total de 11 estudios analizados en profundidad.

Los resultados muestran que la manufactura y la energía obtuvieron mejoras en confiabilidad y reducción de costos de mantenimiento, mientras que la minería y las telecomunicaciones aún enfrentan barreras de capacitación y digitalización. Así mismo se comprobó la efectividad de técnicas como el análisis vibracional, el monitoreo en línea y el uso de redes neuronales para optimizar la detección de fallas.

En conclusión, la norma ISO 13379-1:2012 “Monitorización del estado y diagnóstico de máquinas – Técnicas de interpretación y diagnóstico de datos”, se confirma un estándar estratégico con alto potencial de aplicación, sobre todo cuando se integra con tecnologías emergentes como Big data, IoT e inteligencia artificial. No obstante, se identifican limitaciones derivadas de la escasa aplicación en contexto latinoamericanos, lo que plantea la necesidad de estudios adicionales en la industria chilena. Su adopción presenta una oportunidad concreta para reforzar la confiabilidad de los equipos y avanzar hacia un mantenimiento predictivo coherente con los principios de la industria 4.0.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

OBJETIVOS	11
OBJETIVO GENERAL.	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO Y ALCANCE DE LA NORMA ISO 13379-1:2012.....	12
1.1. IMPORTANCIA DEL DIAGNÓSTICO DE CONDICIONES DE MÁQUINAS	13
1.2. LA NORMA ISO 13379-1:2012	14
1.2.1. PRINCIPIOS GENERALES DEL DIAGNÓSTICO DE FALLAS	14
1.2.2. DIAGNÓSTICO BASADO EN SÍNTOMAS	16
1.2.3. MODELO MEDIANTE ÁRBOLES CAUSALES	17
1.3. RELACIÓN CON OTRAS NORMAS.....	18
1.4. APLICACIÓN EN SECTORES INDUSTRIALES.....	21
1.5. INDUSTRIA 4.0 Y SU INFLUENCIA EN EL DIAGNÓSTICO DE MÁQUINAS.....	22
1.6. ALCANCE DEL PRESENTE ESTUDIO	22
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	24
2.1. ENFOQUE METODOLÓGICO	25
2.2. JUSTIFICACIÓN DEL ENFOQUE	25
2.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN	26
2.4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y SELECCIÓN DE ESTUDIOS.....	26
2.4.1. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	26
2.4.2. CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN	27
2.4.3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PRISMA.....	28
2.4.4. ESTUDIOS SELECCIONADOS.....	29
2.5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA	32

2.6.	SÍNTESIS COMPARATIVA	32
2.6.1.	MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN Y SU RELACIÓN CON LA NORMA	33
2.6.2.	EVALUACIÓN DE DIAGNÓSTICO Y CONFIABILIDAD EN EL MONITOREO	33
2.6.3.	APLICACIONES DE DIAGNÓSTICO EN LA INDUSTRIA.....	34
2.7.	IDENTIFICACIÓN DE BRECHAS Y OPORTUNIDADES.....	34
2.8.	RESULTADOS DE LA REVISIÓN BIBLIORÁFICA.....	36
2.9.	ANÁLISIS DE ESTUDIO DE CASO.....	40
2.10.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	43
CAPITULO 3: PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA NORMA ISO 13379-1:2012 EN EL DIAGNÓSTICO DE CONDICIONES DE MÁQUINAS		45
3.1.	CONTEXTO DE APLICACIÓN	46
3.2.	OBJETIVOS DE LA IMPLEMENTACIÓN	46
3.3.	REQUERIMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN.....	47
3.3.1.	TECNOLOGÍA.....	47
3.3.2.	CAPITAL HUMANO.....	47
3.3.3.	PROCEDIMIENTOS Y DOCUMENTACIÓN	48
3.3.4.	INFRAESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	48
3.3.5.	ESTRATEGIAS COMPLEMENTARIAS PARA FORTALECER LA IMPLEMENTACIÓN DE ISO 13379-1:2012	48
3.4.	PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN	50
3.5.	INTEGRACIÓN DE NORMAS COMPLEMENTARIAS.....	52
3.6.	RELACIÓN CON TECNOLOGÍAS EMERGENTES	54
3.7.	BARRERAS MÁS COMUNES EN LA IMPLEMENTACIÓN DE ISO 13379-1:2012	56
3.8.	RECOMENDACIÓN BASADA EN LOS ESTUDIOS ANALIZADOS	57
3.9.	APLICACIÓN PROGRESIVA Y LINEAMIENTOS PARA VALIDACIÓN FUTURA	58
3.9.1.	VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA EN CONTEXTO CHILENO.....	59

3.10. MÉTRICAS DE VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA.....	59
CONCLUSIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXOS	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo de monitoreo y diagnóstico de condiciones (CM y D): diseño y uso de la aplicación de una máquina.	13
Figura 2: Enfoque general para la elección de un modelo de diagnóstico.	15
Figura 3: Enfoque de diagnóstico de fallas/síntomas.	16
Figura 4: Ejemplo de modelado de árbol de causal utilizado para diagnósticos.	17
Figura 5: Flujo general del monitoreo de condición según ISO 17359 y su relación con ISO 13379-1:2012.	20
Figura 6: Diagrama de flujo PRISMA.	29
Figura 7: Nivel de implementación de la ISO13379-1:2012 por sector industrial.	39
Figura 8: Impacto de métodos de diagnóstico en la reducción de fallas.	42
Figura 9: Proceso de implementación de ISO13379-1:2012.	44
Figura 10: diagrama de flujo de la propuesta de implementación	52
Figura 11: Integración de ISO 13379-1:2012 con tecnologías emergentes.	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ejemplo de correspondencia entre síntomas y fallas en equipos rotativos	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 2: Modelo de diagnóstico más utilizado por técnica de monitorización.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3: Estudios revisados y su relación con la norma ISO 13379-1:2012.	30
Tabla 4: Estudios revisados y su relación con la norma ISO 13379-1:2012 (continuación)	31
Tabla 5: comparación de estudios revisados.	35
Tabla 6: comparación de estudios revisados (continuación).	36
Tabla 7: Implementación de ISO 13379-1:2012 por sector industrial.	38
Tabla 8: Comparación de estudios de casos sobre la implementación de la norma ISO 13379-1:2012.	41

Tabla 9: Ventajas y desafíos de la ISO13379-1:2012.....	43
Tabla 10: Tabla 11: Propuestas de mejora para la implementación de ISO 13379-1:2012 en la industria chilena.....	49
Tabla 11: Propuestas de mejora para la implementación de ISO 13379-1:2012 en la industria chilena (continuación).....	50

INTRODUCCIÓN

Las empresas industriales enfrentan el constante desafío de maximizar la confiabilidad y disponibilidad de sus equipos, factores claves para reducir costos operativos y aumentar la productividad. Las fallas inesperadas en máquinas generan elevados costos asociados a tiempos de inactividad no planificados, lo que resalta la necesidad de estrategias efectivas de mantenimiento.

En este contexto, el diagnóstico de condiciones de máquinas se convierte en una herramienta fundamental para prevenir interrupciones, identificar problemas de manera temprana y optimizar los procesos de mantenimiento. La norma ISO 13379-1:2012 proporciona directrices claras para el diagnóstico de fallas, basándose en la recopilación de datos para determinar las causas raíz de los problemas y mejorar la confiabilidad de los sistemas. Es importante señalar que su alcance se centra en la etapa de diagnóstico, es decir, en la identificación de fallas y condiciones anómalas, lo que la convierte en un pilar metodológico para la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo, pero no a un estándar orientado directamente al pronóstico de fallas. En este sentido, su aplicación se articula con normas complementarias como la ISO 17359, que establece lineamientos generales de monitorización de condición, y la ISO 13381-1, enfocada en el pronóstico de fallas.

No obstante, la implementación de esta norma presenta desafíos que varían entre industrias. Mientras que algunos sectores han logrado avances importantes en la adopción de la norma, como la manufactura y la energía (Ruiz Acevedo, 2012); (González Jaramillo, 2024), otros enfrentan limitaciones vinculadas a recursos técnicos y digitalización, como la minería y las telecomunicaciones (Mosquera Delgado, 2019); (Rodas Peña, 2019). Estos antecedentes se presentarán con mayor detalle en los capítulos posteriores.

De este modo, surge la pregunta central de esta investigación: ¿Cómo se ha aplicado la norma ISO 13379-1_2012 en el diagnóstico de condiciones de máquinas, y

cuáles son sus principales limitaciones y oportunidades de mejora en distintos sectores industriales?

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el estado del arte de la norma ISO 13379-1:2012, evaluando las mejores prácticas, los principales desafíos y las oportunidades de mejora en diferentes sectores industriales. A través de una revisión exhaustiva de literatura técnica y académica, se identificarán soluciones que optimicen su implementación, contribuyendo al desarrollo de estrategias más efectivas en el ámbito industrial y académico.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL.

Realizar un análisis del estado del arte de la norma ISO 13379-1:2012 en el diagnóstico de condiciones de máquinas, evaluando su implementación, impacto y áreas de oportunidad en diversos sectores industriales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Identificar y sistematizar las publicaciones técnicas y académicas más relevantes que aplican la norma ISO 13379-1:2012 en el diagnóstico de condiciones de máquinas.

Clasificar y analizar las metodologías y enfoques utilizados en la literatura y en casos prácticos, destacando sus limitaciones y barreras en distintos sectores industriales.

Proponer lineamientos que fortalezcan la aplicación de la norma ISO 13379-1:2012, promoviendo su integración con tecnologías emergentes y su adecuación al contexto de la industria 4.0.

**CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO Y ALCANCE DE LA NORMA ISO 13379-
1:2012**

1.1. IMPORTANCIA DEL DIAGNÓSTICO DE CONDICIONES DE MÁQUINAS

Las empresas industriales enfrentan el desafío permanente de mantener altos niveles de confiabilidad y disponibilidad en sus equipos productivos. Las fallas inesperadas generan elevados costos asociados a tiempos de inactividad no planificados, además de afectar la seguridad y la productividad.

En este contexto, el diagnóstico de condiciones de máquinas se convierte en una herramienta clave, al permitir la detección temprana de fallas y la planificación de intervenciones de mantenimiento efectivas. Este enfoque se vincula directamente con las tendencias de la industria 4.0, en la cual el uso de datos y tecnologías digitales permite avanzar desde un mantenimiento reactivo hacia estrategias predictivas y basadas en confiabilidad.

La Figura 1 muestra el ciclo de monitoreo y diagnóstico, destacando la interacción entre diseño y aplicación práctica. Este esquema evidencia que el diagnóstico no es un proceso aislado, sino parte de un proceso continuo de gestión de la condición, base para la optimización del mantenimiento.

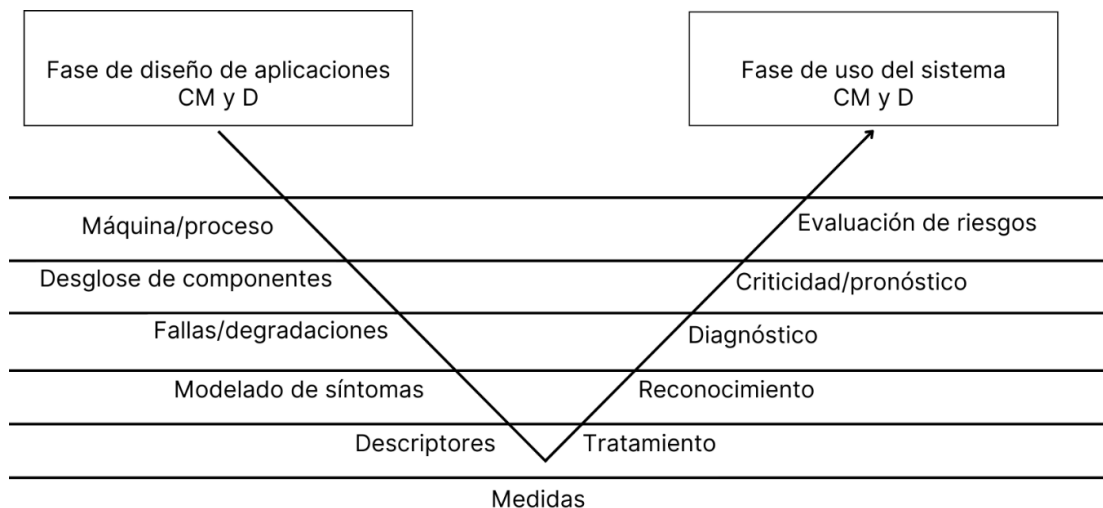


Figura 1: Ciclo de monitoreo y diagnóstico de condiciones (CM y D): diseño y uso de la aplicación de una máquina.

(Fuente: BS ISO 13379-1:2012)

Como se observa en la figura anterior, el ciclo CM y D se compone de distintas fases interrelacionadas: diseño del sistema de monitorización, adquisición y procesamiento de datos, interpretación de síntomas y diagnóstico de fallas. Este carácter cíclico asegura que la información obtenida no solo permita identificar anomalías actuales, sino que también retroalimente la estrategia de mantenimiento, constituyendo la base para su evolución hacia esquemas predictivos.

1.2. LA NORMA ISO 13379-1:2012

La norma ISO 13379-1:2012 “Monitorización del estado y diagnóstico de máquinas – Técnicas de interpretación y diagnóstico de datos” (Organización Internacional de Normalización (ISO)), establece lineamientos metodológicos para la recopilación, procesamiento e interpretación de datos de condición, con el objetivo de identificar fallas o anomalías en equipos industriales.

Su aporte principal consiste en diferenciar claramente el diagnóstico de condición (estado actual de la máquina) del pronóstico (estimación de su evolución futura). De esta manera, la norma ofrece un marco conceptual y práctico que facilita decisiones basadas en evidencia, reduciendo la dependencia de la experiencia empírica y mejorando la trazabilidad del análisis.

1.2.1. PRINCIPIOS GENERALES DEL DIAGNÓSTICO DE FALLAS

Uno de los aspectos centrales en la aplicación de la norma es la selección del modelo de diagnóstico más adecuado. Esta elección depende de factores como la disponibilidad de datos, la complejidad del sistema y el tipo de fallas que se desean identificar.

La Figura 2 ilustra cómo estas variables inciden en la decisión metodológica. En la práctica, un modelo de diagnóstico que funcione en un sistema simple puede no ser aplicable en un entorno complejo. La representación gráfica ayuda a comprender que no existe un modelo único, sino que la selección debe adaptarse al contexto industrial y a los objetivos del análisis.

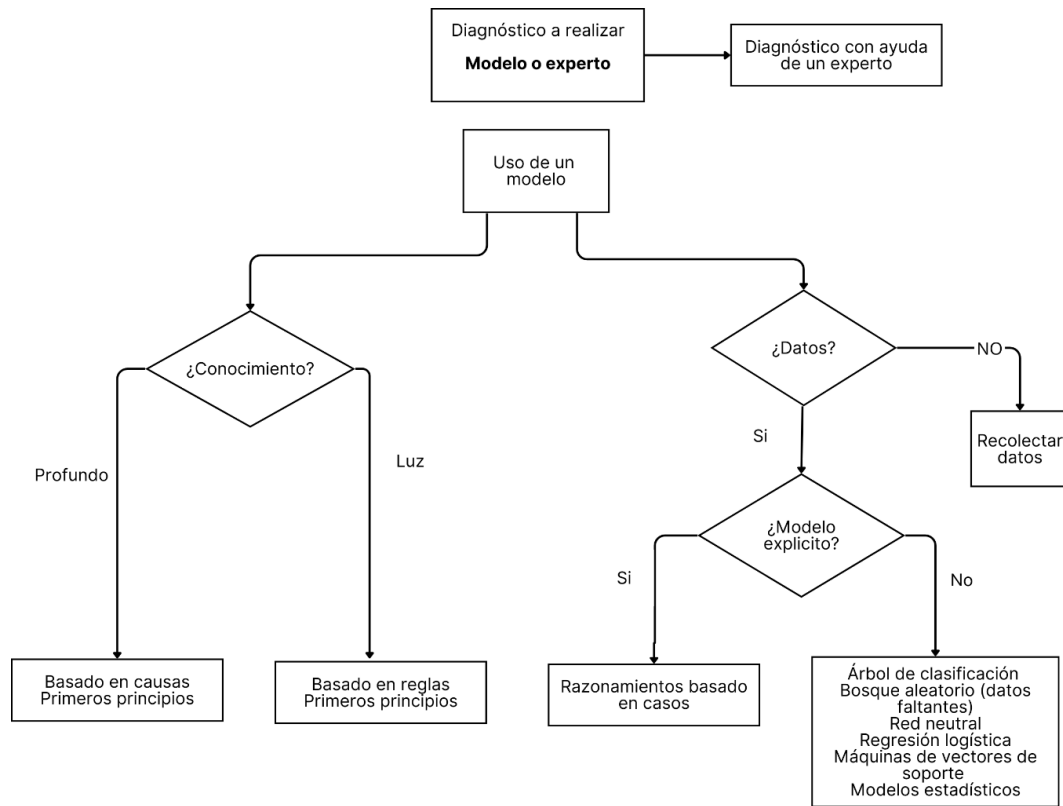


Figura 2: Enfoque general para la elección de un modelo de diagnóstico.

(Fuente: BS ISO 13379-1:2012)

1.2.2. DIAGNÓSTICO BASADO EN SÍNTOMAS

Otro enfoque descrito por la norma es el diagnóstico basado en síntomas, que asocia señales observables con posibles fallas. Este método se utiliza con frecuencia en industrias donde la experiencia operativa es amplia y las fallas presentan manifestaciones claras en parámetros como vibración, temperatura o ruido.

La más adelante, representa cómo a partir de síntomas se establecen relaciones con fallas potenciales. El valor de este enfoque radica en su simplicidad y aplicabilidad inmediata, aunque presenta limitaciones si los síntomas no son específicos o si existe superposición entre distintas fallas. Por ello, su efectividad depende de mantener bases de datos y catálogos de fallas bien estructurados.

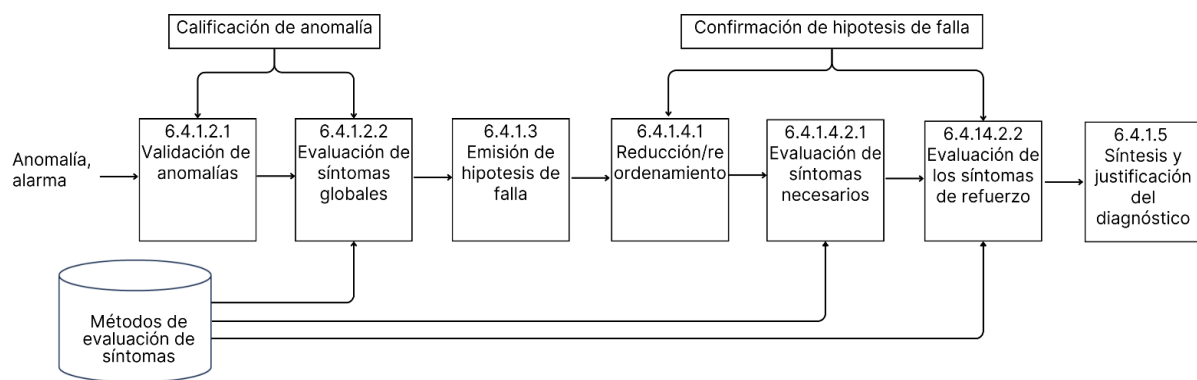


Figura 3: Enfoque de diagnóstico de fallas/síntomas
(Fuente: BS ISO 13379-1:2012)

1.2.3. MODELO MEDIANTE ÁRBOLES CAUSALES

Finalmente, la norma plantea árboles causales para representar gráficamente la relación entre síntomas y fallas raíz. Este método estructurado de manera jerárquica las posibles causas y consecuencias, favoreciendo la claridad y la reducción de la incertidumbre durante el diagnóstico.

A continuación, en la Figura 4, se muestra como un árbol causal permite rastrear las conexiones entre síntomas y posibles causas raíz. Esta técnica es particularmente útil en sistemas complejos, donde múltiples variables interactúan y dificultan la identificación directa de fallas. Al representar las relaciones de manera lógica y visual, se facilita la comunicación de resultados entre especialistas y equipos multidisciplinares.

En el

se ofrece un ejemplo de modelado de árbol de causal obtenido desde norma ISO 13379-1:2012.

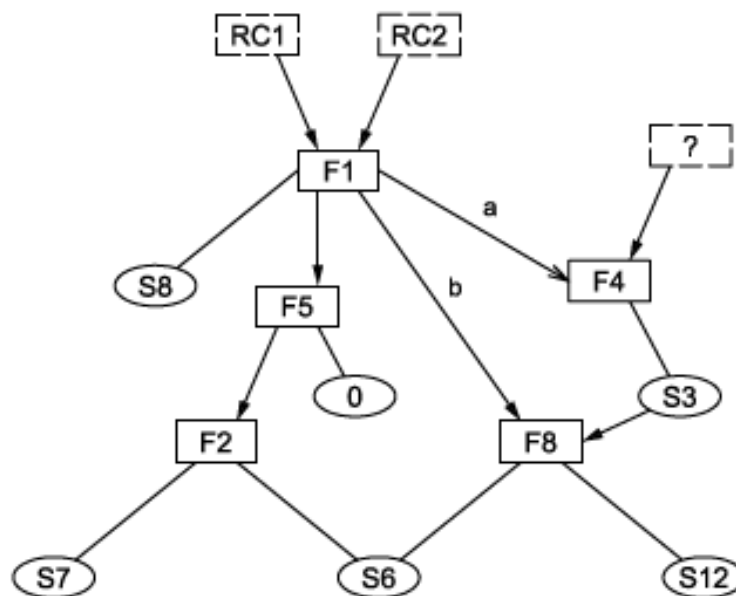


Figura 4: Ejemplo de modelado de árbol de causal utilizado para diagnósticos.

(Fuente: BS ISO 13379-1:2012)

Donde:

- RC_j = Causa raíz.
- F_j = Modo consecuencia de falla.
- 0 = Ninguna.
- S_j = Síntoma.

1.3.RELACIÓN CON OTRAS NORMAS

El diagnóstico de condiciones de máquinas, abordado en la ISO 13379-1:2012, no constituye un proceso independiente, si no que forma parte de un marco normativo más amplio que regula el mantenimiento basado en condición. La conexión de estas interrelaciones resulta esencial, ya que permite a las organizaciones adoptar estrategias integradas que combinan la monitorización de datos, el diagnóstico de fallas y el pronóstico de la vida útil de los activos.

En la Tabla 1: Comparación de normas ISO aplicadas al mantenimiento basado en condición. se presentan las principales normas que complementan a la ISO 13379-1, junto con sus alcances y aplicaciones.

Norma	Alcance	Aplicación principal	Relación con ISO 13379-1
ISO 17359	Monitorización de condición	Define directrices generales para recolectar datos de condición.	Provee la base de información que la ISO 13379-1 interpreta.
ISO 13379-1	Diagnóstico de fallas	Establece la interpretación de datos para identificar anomalías.	Actúa como puente entre la monitorización (ISO 17359) y el pronóstico (ISO 13381-1).
ISO 13381-1	Pronóstico de condición	Define métodos para estimar la evolución de fallas y vida útil remanente.	Se nutre de diagnósticos confiables obtenidos con ISO 13379-1.

Tabla 1: Comparación de normas ISO aplicadas al mantenimiento basado en condición.

La comparación muestra que la ISO 13379-1 cumple un rol intermedio estratégico dentro del proceso de gestión de mantenimiento. Mientras la ISO 17359 establece el que medir y la ISO 13381-1 define el que predecir, la ISO 13379-1 se enfoca en el que significa lo que se haya medido. Sin este eslabón, los datos recolectados no podrían transformarse en información diagnóstica útil ni alimentar de manera confiable los modelos de pronóstico.

Como se observa en la Figura 5, la norma estudiada actúa como un “puente metodológico” entre la etapa de captura de datos (monitorización) y la etapa de estimación futura (pronóstico), este flujo evidencia que la ISO 13379-1 no es autosuficiente, si no que necesita de la información de la ISO 17359 para realizar diagnósticos, al tiempo que alimenta la ISO13381-1 para anticipar fallas.

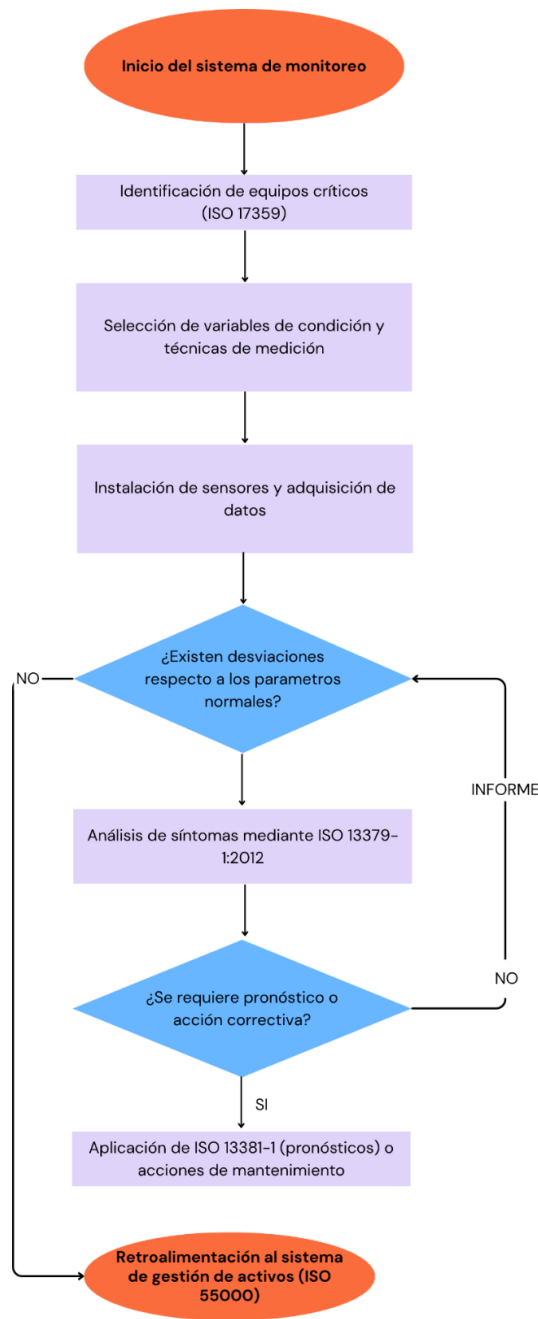


Figura 5: Flujo general del monitoreo de condición según ISO 17359 y su relación con ISO 13379-1:2012.

(Fuente: Elaboración propia.)

De esta forma, se reconoce que el verdadero valor de la ISO13379-1 no radica en su aplicación aislada, si no en su capacidad de integrarse con otras normas complementarias,

generando un marco de referencia robusto para la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo coherentes con los principios de la industria 4.0.

1.4. APLICACIÓN EN SECTORES INDUSTRIALES

La implementación del estándar ISO 13379-1:2012 presenta diferencias significativas entre los distintos sectores productivos, las cuales dependen en gran medida del nivel de madurez tecnológica y organizacional de cada industria. Estudios recientes muestran que la manufactura y la energía han alcanzado avances relevantes, logrando mejoras en la confiabilidad de los equipos y una reducción sustancial en los costos de mantenimiento (Ruiz Acevedo, 2012); (González Jaramillo, 2024).

En contraste, áreas como la minería y las telecomunicaciones evidencian mayores dificultades para integrar el marco normativo en sus procesos de mantenimiento. Entre los obstáculos más frecuentes destacan la escasez de personal especializado, la resistencia cultural frente a cambios tecnológicos y la limitada digitalización de operaciones críticas (Mosquera Delgado, 2019) (Rodas Peña, 2019).

El análisis comparativo indica que estas diferencias no responden solo a factores técnicos, sino también a la disponibilidad de datos confiables y al grado de integración tecnológica. Mientras que en la mano factura predominan sistemas de sensorización y monitoreo en línea, la minera continúa dependiendo de inspecciones manuales y metodologías reactivas. Por su parte, las telecomunicaciones deben enfrentar el reto de adaptar un estándar diseñados para sistemas mecánicos a infraestructuras de red con dinámicas distintas.

En este sentido, la ISO 13379-1 funciona no solo como guía metodológica, si no también como un indicador de nivel de preparación digital de cada sector. Allí donde existen recursos tecnológicos y humanos disponibles, el estándar se convierte en un catalizador para el mantenimiento predictivo. En cambio, en industrias con proceso menos digitalizados, su incorporación presenta barreras estructurales que requieren estrategias de capacitación, inversión y adaptación al contexto particular.

1.5. INDUSTRIA 4.0 Y SU INFLUENCIA EN EL DIAGNÓSTICO DE MÁQUINAS

La denominada industria 4.0 representa una transformación profunda en la manera en que se gestionan los activos productivos al incorporar tecnologías digitales avanzadas como el internet de las Cosas (IoT), Big Data e inteligencia artificial (IA). Estas herramientas permiten una integración más ágil y precisa de los procesos de monitorización, generando un entorno donde la captura de, transmisión y análisis de datos se realiza en tiempo real.

En este escenario, la ISO 13379-1:2012 adquiere una relevancia estratégica, ya que los lineamientos de diagnóstico que propone pueden ser potenciados por estas tecnologías emergentes. El uso de redes neuronales de sensores, sistema de monitoreo en línea y algoritmos de aprendizaje automático permite no solo identificar fallas de manera más temprana, si no también reducir la dependencia de la interpretación humana, aumentando la objetividad y precisión en la detección de anomalías.

Un aspecto clave es que la norma no se limita a entornos tradicionales, si no que se adapta a la base metodológica para la evolución hacia modelos predictivos. Esto se debe a que, al ofrecer diagnósticos confiables, constituye el punto de partida para técnicas de pronóstico que buscan estimar la vida útil remanente de los activos. En este sentido, su integración con tecnologías propias de la industria 4.0 habilita la transición hacia un mantenimiento mas inteligente y proactivo.

El análisis crítico muestra que, aunque las herramientas digitales amplifican las capacidades del estándar, su valor reside en la postura conceptual que aporta. Sin un marco metodológico como el de la ISO 13379-1, el uso de datos masivos o algoritmos avanzados corren el riesgo de carecer de trazabilidad y rigor técnico.

1.6. ALCANCE DEL PRESENTE ESTUDIO

EL presente trabajo se centra en analizar el estado del arte de la norma ISO13379-1:2013, identificando como ha sido utilizada en diferentes contextos industriales y cuáles son sus principales aportes, limitaciones y oportunidades de desarrollo. El análisis considera literatura

académica, documentos técnicos y estudios de caso, lo que permite obtener una visión amplia y crítica de la aplicación de este estándar en el diagnóstico de condiciones de máquinas.

El alcance de la investigación no se limita a describir la norma, si no que busca:

- Reconocer los sectores industriales que han logrado avances en la implementación del marco de diagnóstico, destacando los beneficios obtenidos.
- Identificar los desafíos y barreras que aún persisten en industrias con menor grado de madurez tecnológica.
- Explorar la interacción entre la ISO 133799-1 y otros estándares internacionales, entendiendo su rol dentro del mantenimiento basado en condición.
- Analizar el potencial de la norma en el contexto de la industria 4.0, donde la integración con tecnologías digitales amplifica su posibilidad de uso.

En el caso de Chile, no se registran estudios aplicados directamente sobre la ISO 13379-1:2012. Sin embargo, su incorporación en sectores estratégicos como la minería y la energía representa una oportunidad relevante para avanzar hacia prácticas de mantenimiento predictivo más alineadas con los principios de la industria 4.0.

En definitiva, este trabajo busca aportar una visión crítica y actualizada sobre el papel de la ISO 13379-1:2012 en la transición hacia un mantenimiento más inteligente, con el propósito de orientar futuras investigaciones y apoyar a las organizaciones en la toma de decisiones sobre la gestión de sus activos.

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

2.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

El enfoque metodológico adoptado en esta investigación es de carácter cualitativo, sustentando en técnicas de revisión documental y análisis de contenido aplicado a estudios relacionados con la norma ISO 13379-1:2012. El objetivo principal es interpretar cómo se ha implementado y adaptado a diferentes contextos industriales dicha norma en distintas industrias.

Este enfoque permite captar matrices que no serían visibles mediante estudios cuantitativos, como la justificación técnica de su aplicación, los desafíos enfrentados y la integración con otras normas relacionadas. La revisión documental se escogió como técnica central por su capacidad para reunir evidencia desde fuentes académicas, tesis, normas técnicas y estudios de caso, fundamentales dada la escasa disponibilidad de investigaciones empíricas comparativas sobre esta norma. Además, este enfoque facilita la detección de patrones, vacíos y tendencias que son interpretadas en los apartados posteriores.

2.2. JUSTIFICACIÓN DEL ENFOQUE

Se escogió un enfoque cualitativo por las siguientes razones:

- **Revisión bibliográfica:** permite analizar información teórica y antecedentes relevantes.
- **Análisis de estudios de caso:** facilita evaluar aplicaciones prácticas de la norma.
- **Comparación de métodos:** posibilita contrastar distintas metodologías.

Este enfoque permite combinar el análisis profundo de literatura académica con la observación de experiencias, prácticas, y exploratoria, porque busca descubrir patrones, desafíos y oportunidades poco documentadas en la literatura actual.

2.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es descriptiva, ya que se enfoca en caracterizar la implementación de la norma en distintos sectores industriales. Además, es exploratoria, ya que, busca descubrir patrones, desafíos y oportunidades poco documentadas en la literatura actual.

La combinación de ambos tipos de investigación es crucial para entender tanto la teoría como la práctica, permitiendo proponer mejoras basadas en evidencia.

2.4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y SELECCIÓN DE ESTUDIOS

Esta sección describe el proceso metodológico seguido para recolectar, evaluar y seleccionar los estudios utilizados como base teórica y empírica en esta investigación, abordando desde la recolección de datos hasta la aplicación de criterios sistemáticos de inclusión.

2.4.1. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

La revisión bibliográfica fue el eje principal para sustentar teóricamente esta investigación. Se realizó una búsqueda sistemática en bases de datos académicas como Scopus, IEEE Xplore y Google Scholar, utilizando palabras claves como “ISO 23379-1”,

“diagnóstico de condiciones de máquinas”, “mantenimiento predictivo” y “gestión de activos”.

Se priorizó publicaciones revisadas por pares, tesis académicas y reportes técnicos que abordaran de forma directa o indirecta la norma ISO 13379-1:2012 o metodologías alineadas con sus principios. Se aplicó criterios de selección rigurosos para garantizar la pertinencia y calidad de los estudios incluidos.

2.4.2. CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Para asegurar la relevancia de los documentos analizados, se definieron los siguientes criterios:

- Estudios que aborden la norma ISO 13379-1:2012 o su aplicación en el diagnóstico de condiciones de máquinas.
- Publicaciones académicas, tesis, normas técnicas y reportes de caso con metodologías claramente definidas.
- Documentos publicados entre 2012 y 2025, en español o inglés, con acceso a texto completo.

Criterios de exclusión:

- Documentos sin relación explícita con la norma o sin metodología de diagnóstico basada en condición.
- Trabajos sin revisión por pares o sin información verificada.
- Estudios centrados exclusivamente en inteligencia artificial que no consideren de forma explícita criterios de diagnósticos basados en condición o que no guarden relación metodológica con los principios de la norma.

2.4.3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PRISMA

Para asegurar un proceso riguroso y transparente en la revisión bibliográfica, se aplicó la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses, en español: Elementos de Reportes Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis), siguiendo las etapas de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión.

La búsqueda inicial permitió identificar 11 registros en bases de datos académicas (Scopus, IEE Xplore y Sciencedirect) y 10 registros adicionales en otras fuentes (Google Scholar y repositorios de tesis), totalizando 21 documentos. Tras la eliminación de duplicados, quedaron 16 estudios únicos.

En la etapa de cribado por título y resumen se excluyeron 2 registros por falta de pertinencia temática, quedando 12 documentos para revisión detallada. Posteriormente, en la evaluación a texto completo se analizaron 10 artículos, de los cuales 2 fueron descartados al no cumplir con los criterios de inclusión definidos, entre ellos la pertenencia temática respecto al diagnóstico de condiciones de máquinas y la aplicabilidad de lineamientos compatibles con la norma ISO 13379-1:2012.

Finalmente se seleccionaron 10 estudios en la síntesis cualitativa y 1 en la síntesis cuantitativa (metaanálisis), tal como se ilustra en el diagrama Figura 6: Diagrama de flujo PRISMA.

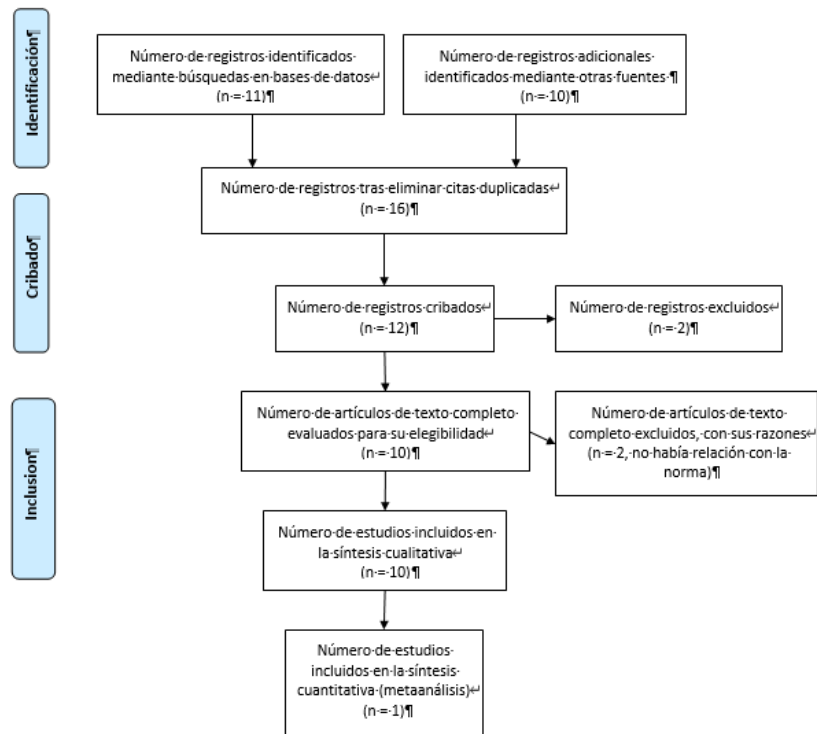


Figura 6: Diagrama de flujo PRISMA.

(Fuente: Elaboración propia)

2.4.4. ESTUDIOS SELECCIONADOS

Tras la aplicación del procedimiento descrito en el punto 2.4.3, se seleccionaron 10 estudios relevantes que cumplen con los criterios establecidos. Estos trabajos fueron seleccionados según su nivel de relación con la norma:

- Directa: El estudio aplica explícitamente la norma ISO 13379-1:2012 como parte de su metodología estructural del diagnóstico.

- Indirecta: El estudio utiliza conceptos, enfoques o herramientas presentes en la norma (como síntomas, modos de falla o FMSA), pero sin citarla ni aplicarla de forma declarada.
- Relacionada: El estudio se basa principalmente en otra norma, como ISO 173559 o FMECA, pero su enfoque se alinea con los principios de ISO 13379-1.

A continuación, se presenta la

Tabla 3, que recopila estudios sobre mantenimiento predictivo, monitoreo de condición y diagnóstico de fallas en máquinas industriales. Estos trabajos han sido seleccionados por su relación con la norma ISO 13379-1:2012, que establece lineamientos para el análisis y diagnóstico de fallas en equipos mecánicos. Cada uno fue clasificado según tres categorías:

Referencia	Relación con ISO 13379-1:2012	Descripción
(Ruiz Acevedo, 2012). <i>Mantenimiento basado en condición (MBC)</i> .	Indirecta.	Aplica mantenimiento basado en condición alineado con principios similares a los de la norma.
(García Cumbe, 2021). <i>Diseño de un modelo de gestión de mantenimiento basado en condición</i> .	Relacionada.	Basa su modelo en ISO 17359, pero propone un enfoque diagnóstico coherente con ISO 13379.
(Rodas Peña, 2019). <i>Gestión de la información para la elaboración de un plan de mantenimiento basado en condición</i> .	Relacionada.	Desarrolla un modelo de monitoreo alineado con la norma, facilitando el diagnóstico y genera métricas de confianza.

Tabla 2: Estudios revisados y su relación con la norma ISO 13379-1:2012.

(Fuente: Elaboración propia)

(Jiménez Fuentes, 2022). <i>Método de medición de la efectividad del diagnóstico en monitoreo de condición.</i>	Directa.	Utiliza la norma para evaluar la efectividad del proceso de diagnóstico y genera métricas de confianza.
(Wagner & Bernd Hellgrath, 2021). <i>Apoyo a la implementación del mantenimiento predictivo.</i>	Indirecta.	Propone un modelo de referencia para mantenimiento predictivo alineado con la norma.
(Lira Nuñez, 2017). <i>Modelado de Pronóstico y Gestión de la Salud de Máquinas Mecánicas.</i>	Indirecta.	Desarrolla modelos de diagnóstico aplicando enfoques compatibles con la norma en la manufactura.
(González Jaramillo, 2024). <i>Implementación del diagnóstico vibracional en una central hidroeléctrica.</i>	Relacionada.	Implementa diagnóstico vibracional como parte de las metodologías alineadas con la norma.
(Santiz Morales, 2019). <i>Diseño de un plan de mantenimiento predictivo en una fábrica de azúcar.</i>	Relacionada.	Utiliza FMECA como metodología de diagnóstico complementaria a la norma.
(Mosquera Delgado, 2019). <i>Plan de mantenimiento del filtro clarificador bajo metodología FMECA.</i>	Indirecta.	Aplica métodos estructurados de diagnóstico compatibles con la norma.
(Aldaz Calero, 2023). <i>Elaboración de un plan de mantenimiento basado en condición para equipos críticos.</i>	Relacionada.	Utiliza FMECA como metodología de diagnóstico complementaria a la norma.

Tabla 3: Estudios revisados y su relación con la norma ISO 13379-1:2012 (continuación)

(Fuente: Elaboración propia)

2.5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA

El análisis de la información recopilada constituye una fase clave en esta investigación, permitiendo interpretar y sintetizar los estudios seleccionados en relación con la aplicación de la norma ISO 13379-1:2012 en el diagnóstico de condiciones de máquinas.

A partir de los documentos seleccionados, se llevó a cabo un proceso de clasificación, comparación y análisis crítico, con el objetivo de identificar tendencias, enfoques metodológicos y resultados relevantes en el área. Para facilitar este análisis, los estudios fueron Clasificados según:

- Sector industrial: Manufactura, energía, minería, telecomunicaciones, entre otros.
- Metodología empleada: Diagnóstico vibracional, monitoreo de temperatura, ultrasonido, análisis de lubricantes, entre otros.
- Resultados obtenidos: impacto en confiabilidad, disponibilidad y eficiencia del mantenimiento.
- Enfoque metodológico: Clasificación en cualitativos, cuantitativos o mixtos.

La síntesis comparativa de estos estudios permitió identificar similitudes y diferencias en la aplicación de la norma ISO13379-1:2012, así como brechas y oportunidades para futuras investigaciones.

2.6. SÍNTESIS COMPARATIVA

Los estudios seleccionados fueron comparados para identificar similitudes y diferencias en la aplicación de la norma ISO 13379-1:2012. Se prestó especial atención

a la diversidad de metodologías empleadas, la calidad de los resultados obtenidos y la profundidad del análisis diagnóstico, por ejemplo, mientras que algunos estudios como el Rodas Peña (2020) se centraron en redes neuronales para el diagnóstico predictivo, otros como Aldaz Calero (2023) adoptan metodologías tradicionales como el RCM.

2.6.1. MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN Y SU RELACIÓN CON LA NORMA

El mantenimiento basado en condición ha sido ampliamente estudiado como una estrategia eficaz para la detección temprana de fallas en equipos industriales (Ruiz Acevedo, 2012), (Garcia Cumbe, 2021). La norma ISO 13379-1:2012 establece que el diagnóstico debe basarse en datos obtenidos mediante técnicas de monitoreo de condición (ver 1.2.1), lo que coinciden con los enfoques presentados en estos estudios.

Por otro lado, (Rodas Peña, 2019) y (Santiz Morales, 2019) han desarrollado estrategias de monitoreo que aplican la norma para mejorar la confiabilidad en entornos industriales. Sus metodologías de análisis de datos se alinean con los criterios de evaluación de síntomas y fallas descritos en ISO 13379-1:2012.

2.6.2. EVALUACIÓN DE DIAGNÓSTICO Y CONFIABILIDAD EN EL MONITOREO

(Jiménez Fuentes, 2022) ha trabajado directamente con la norma ISO 13379-1:2012, estableciendo métricas para evaluar la confianza de los diagnósticos en mantenimiento predictivo. Su investigación valida la importancia de la norma en la toma de decisiones basadas en datos. De manera complementaria, (Wagner & Bernd Hellingrath, 2021), presenta un modelo estructurado para la implementación de mantenimiento predictivo alineado con los principios de diagnóstico de la norma.

(Lira Nuñez, 2017), analiza el uso de sistema ciberfísicos y modelos de predicción, explorando metodologías compatibles con ISO13379-1:2012 en manufactura avanzada.

2.6.3. APLICACIONES DE DIAGNÓSTICO EN LA INDUSTRIA

Estudios Como los de (González Jaramillo, 2024) y (Aldaz Calero, 2023) muestran cómo se implementa la norma en sectores específicos, aplicando el análisis de vibraciones y estrategias de mantenimiento predictivo basadas en diagnóstico de síntomas y modos de falla. Estas metodologías son coherentes con las establecidas en la ISO 13379-1:2012.

Así mismo, (Mosquera Delgado, 2019), aplica metodología FMECA para la identificación de fallas, alineándose con el marco analítico de la norma.

Para visualizar mejor las similitudes y diferencias entre los estudios revisados, se presenta la siguiente comparación en función del sector industrial, la metodología empleada y los resultados obtenidos.

2.7. IDENTIFICACIÓN DE BRECHAS Y OPORTUNIDADES

A partir del análisis comparativo, se identificaron vacíos en la literatura, como la falta de estudios en ciertos sectores industriales o la necesidad de mayor estandarización en la aplicación de la norma. También se reconocieron oportunidades para investigaciones futuras, como la integración de nuevas tecnologías de monitoreo y diagnóstico, especialmente en sectores como telecomunicaciones y energía, donde el estudio de García Cumbe (2021) mostró resultados prometedores.

Este análisis permitió construir una base sólida para la discusión de resultados, aportando una visión integral sobre el estado del arte en la aplicación de la norma ISO 13379-1:2012 en el diagnóstico de condiciones de máquinas.

Referencia	Sector Industrial	Metodología	Resultados Clave
(Ruiz Acevedo, 2012)	Manufactura	Monitoreo de condición	Reducción del 20% en fallas inesperadas
(García Cumbe, 2021)	Energía	Gestión del mantenimiento	Implementación efectiva de CBM en redes eléctricas
(Rodas Peña, 2019)	Telecomunicaciones	Monitoreo en línea	Optimización del mantenimiento basado en sensores
(Jiménez Fuentes, 2022)	Multisectorial	Evaluación de confiabilidad	Desarrollo de métricas de diagnóstico confiable
(Wagner & Bernd Hellingrath, 2021)	Industria 4.0	Modelo predictivo	Estrategia para optimizar mantenimiento predictivo
(Lira Nuñez, 2017)	Manufactura	Pronóstico de fallas	Predicción precisa de modos de falla

Tabla 4: comparación de estudios revisados.

(Fuente: Elaboración propia).

Referencia	Sector Industrial	Metodología	Resultados Clave
(González Jaramillo, 2024)	Energía	Diagnóstico vibracional	Reducción de fallas en generadores hidroeléctricos
(Santiz Morales, 2019)	Manufactura	FMECA	Optimización del mantenimiento predictivo en industria azucarera
(Mosquera Delgado, 2019)	Minería	FMECA	Mejora en confiabilidad del filtro clarificador
(Aldaz Calero, 2023)	Automotriz	CBM	Optimización del mantenimiento en equipos críticos

Tabla 5: comparación de estudios revisados (continuación)

(Fuente: Elaboración propia).

2.8. RESULTADOS DE LA REVISIÓN BIBLIORÁFICA

La revisión bibliográfica realizada permitió identificar diversos enfoques metodológicos y resultados clave en la aplicación de la norma ISO 13379-1:2012 en el diagnóstico de condiciones de máquinas. Los estudios seleccionados muestran como esta norma ha sido implementada en distintos sectores industriales, aportando mejoras significativas en la confiabilidad y disponibilidad de equipos.

Se identificó que los enfoques más utilizados en ellos estudios incluyen:

- Mantenimiento basado en condición, alineado con la ISO13379-1:2012.

- Monitoreo predictivo, aplicados a distintos sectores industriales.
- Implementación de modelos de diagnóstico, en su mayoría compatibles con la norma.

Además, se observa que la norma ha sido utilizada en diversas industrias, entre ellas:

- **Industria de manufactura:** enfoque en monitoreo de condición en líneas de producción y mantenimiento predictivo.
- **Sector energético:** Aplicación en el mantenimiento de turbinas, generadores y redes eléctricas.
- **Minería:** Implementación en maquinaria pesada y sistema de transporte.
- **Telecomunicaciones:** Uso de equipos de transmisión y servidores.

Pese a la variedad de sectores industriales que han adoptado la norma, se encontraron diferencias en la forma en que se implementa. Mientras que algunos estudios han aplicado directamente la ISO13379-1:2012 para el diagnóstico de fallas, otros han utilizado metodologías complementarias como el FMECA y técnicas de inteligencia artificial para mejorar la precisión de los diagnósticos.

Otro punto relevante es el nivel de madurez en la adopción de la norma. Se evidenció que, en sectores con mayor automatización, como la manufactura avanzada como en estudios de (Ruiz Acevedo, 2012), (Lira Nuñez, 2017) y (Santiz Morales, 2019) y la industria energética, (González Jaramillo, 2024) su implementación es más estructurada, mientras que, en sectores más tradicionales, como la minería (Mosquera Delgado, 2019) y telecomunicaciones (Rodas Peña, 2019), aún existen barreras para su adopción plena, especialmente en términos de digitalización de datos y capacitación del personal.

A continuación, la Tabla 6 presenta un resumen de la implementación de la norma en diferentes sectores industriales, destacando sus beneficios y los principales desafíos en cada uno de ellos.

Sector Industrial	Principales Beneficios	Desafíos	Referencias
Manufactura	Optimización del mantenimiento predictivo	Integración con otros estándares	(Ruiz Acevedo, 2012) (Lira Nuñez, 2017) (Santiz Morales, 2019)
Energía	Reducción de fallas en sistemas críticos	Costo de implementación	(González Jaramillo, 2024) (García Cumbe, 2021)
Minería	Mayor vida útil de la maquinaria	Falta de capacitación	(Mosquera Delgado, 2019)
Telecomunicaciones	Monitoreo remoto y análisis de datos	Limitaciones en la infraestructura tecnológica	(Rodas Peña, 2019)

Tabla 6: Implementación de ISO 13379-1:2012 por sector industrial.

(Fuente: elaboración propia).

La Figura 7: Nivel de implementación de la ISO13379-1:2012 por sector industrial., presenta un análisis exploratorio del grado de implementación de la norma ISO 13379-1:2012 en distintos sectores industriales, basado en el conjunto limitado de estudios incluidos en esta investigación. Si bien el sector manufacturero muestra una mayor cantidad de aplicaciones reportadas, estos datos no permiten establecer conclusiones representativas a nivel global o sectorial, dada la baja disponibilidad de literatura especializada en algunos rubros.

Nota: Esta categorización se basa en un total de diez estudios identificados en la revisión sistemática, por lo cual su interpretación debe considerarse como preliminar y sujeta a validación con más evidencia.

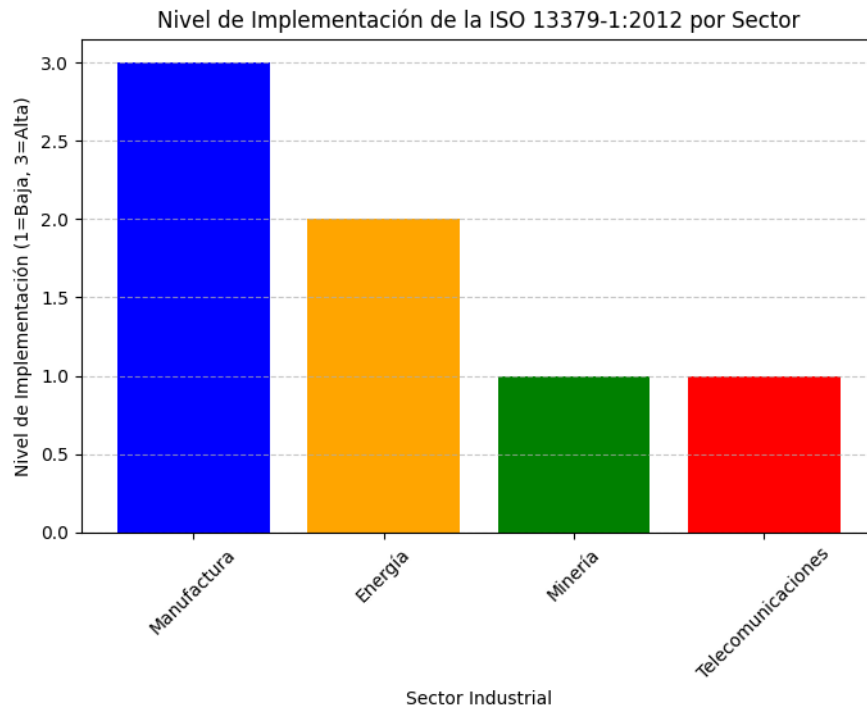


Figura 7: Nivel de implementación de la ISO13379-1:2012 por sector industrial.

(Fuente: Elaboración propia)-

El análisis también reveló que existen estudios donde la norma ISO 13379-1:2012 es utilizada como una referencia conceptual, sin aplicarse de manera directa. En estos casos, se integran otros estándares complementarios como la ISO 17359 para monitoreo de condición y la ISO 13381-1 para pronóstico de fallas.

Finalmente, se destaca la necesidad de generar más estudios experimentales que permitan evaluar la eficacia real de la norma en comparación con otras metodologías de diagnóstico de fallas en máquinas. La mayoría de los estudios revisados se basan en análisis teóricos o en casos de estudios aislados, por lo que aún queda espacio para

investigaciones que permitan establecer métricas cuantificables sobre los beneficios de la implementación de la norma ISO 13379-1:2012 en distintos sectores industriales.

2.9. ANÁLISIS DE ESTUDIO DE CASO

En esta sección se analizaron los estudios de casos seleccionados, comparando los métodos de diagnóstico utilizados, los resultados alcanzados y las lecciones aprendidas. Se identifican los factores que han facilitado o dificultado la adopción de la norma en diferentes sectores industriales.

Los estudios de caso seleccionados han sido elegidos debido a su relevancia en distintos enfoques de diagnóstico de fallas. Cada uno representa una metodología diferente aplicada en distintos sectores industriales:

- (Mosquera Delgado, 2019): Aplicación de FMECA en el diagnóstico de fallas en un entorno donde la confiabilidad operativa es clave.
- (Jiménez Fuentes, 2022): Implementación de monitoreo en línea y modelos predictivos para mejorar la precisión del diagnóstico.
- (Rodas Peña, 2019): Uso de redes neuronales y análisis de datos para la optimización del mantenimiento.
- (Aldaz Calero, 2023): Implementación de mantenimiento basado en condición para equipos críticos en la industria automotriz.
- (González Jaramillo, 2024): diagnóstico vibracional en una central hidroeléctrica para reducir fallas en generadores.

Estos estudios permiten analizar cómo distintas metodologías pueden influir en la efectividad del mantenimiento basado en condición y cómo la norma ISO13379-1:2012

puede ser aplicada de diferentes maneras en función del sector y los recursos disponibles.

A continuación, se presenta la Tabla 7: Comparación de estudios de casos sobre la implementación de la norma ISO 13379-1:2012.

(Fuente: Elaboración propia).

, la cual compara los principales estudios de caso revisados en términos de metodología, impacto y dificultades encontradas.

Estudio	Método de Diagnóstico	Resultados Obtenidos	Dificultades
Mosquera (2019)	FMECA	Mejora en confiabilidad operativa	Capacitación del personal
Jiménez Fuentes (2023)	Monitoreo en línea con modelos predictivos	Mayor precisión diagnóstica	Falta de integración con otros sistemas
Rodas Peña (2020)	Redes neuronales y análisis de datos	Optimización del mantenimiento	Costos de implementación
Aldaz Calero (2023)	Mantenimiento basado en condición (CBM)	Mayor confiabilidad en equipos críticos	Falta de inversión en sensores y análisis de datos
González Jaramillo (2024)	Diagnóstico vibracional	Reducción de fallas en generadores hidroeléctricos	Limitaciones en la disponibilidad de datos históricos

Tabla 7: Comparación de estudios de casos sobre la implementación de la norma ISO 13379-1:2012.

(Fuente: Elaboración propia).

En la Figura 8, se presenta un gráfico comparativo del impacto de cada metodología en la reducción de fallas en los equipos analizados en estos estudios.

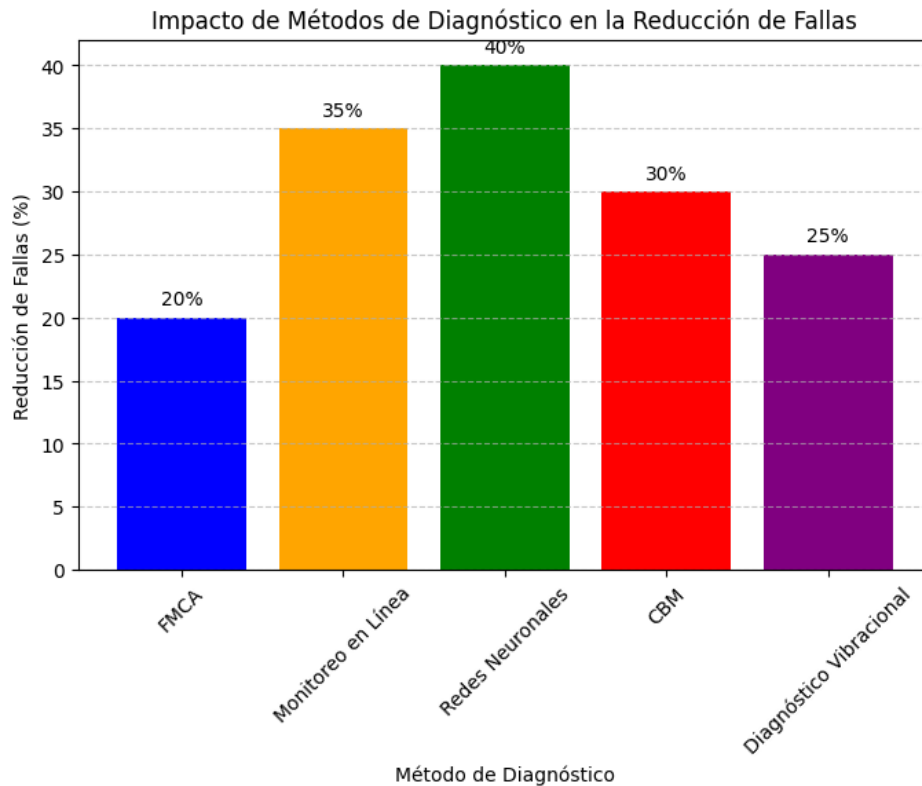


Figura 8: Impacto de métodos de diagnóstico en la reducción de fallas.

(Fuente: Elaboración propia).

Este análisis demuestra que el uso de metodologías avanzadas como redes neuronales y monitoreo en línea puede mejorar significativamente la precisión del diagnóstico de fallas, mientras que metodologías tradicionales como FMECA siguen siendo útiles en entornos con menor capacidad tecnológica.

2.10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los hallazgos de la revisión bibliográfica y el análisis de estudios de caso permiten establecer un análisis crítico sobre el estado actual de la implementación de la norma ISO 13379-1:2012.

Se identificaron brechas y oportunidades, tales como:

- Falta de implementación estandarizada en sectores como telecomunicaciones y manufactura avanzada.
- Necesidad de mayor alineación entre modelos de monitoreo predictivo y los lineamientos de la norma.
- Oportunidad para mejorar el monitoreo de condición mediante el uso de inteligencia artificial y big data.

Para visualizar mejor las ventajas y desafíos de la norma ISO 13379-1:2012, se presenta la Tabla 8, que resume los principales puntos identificados en la discusión de resultados.

Aspecto	Ventajas de ISO 13379-1:2012	Desafíos
Diagnóstico de fallas	Estandarización de procesos	Falta de adopción en algunos sectores
Implementación	Compatible con mantenimiento predictivo	Requiere capacitación especializada

Integración con Industria 4.0	Se puede complementar con IA y Big Data	Falta de guías específicas para esto
-------------------------------	---	--------------------------------------

Tabla 8: Ventajas y desafíos de la ISO13379-1:2012.

(Fuente: Elaboración propia)

En la Figura 9, se muestra un diagrama de flujo que ilustra el proceso de implementación de la norma en entornos industriales.

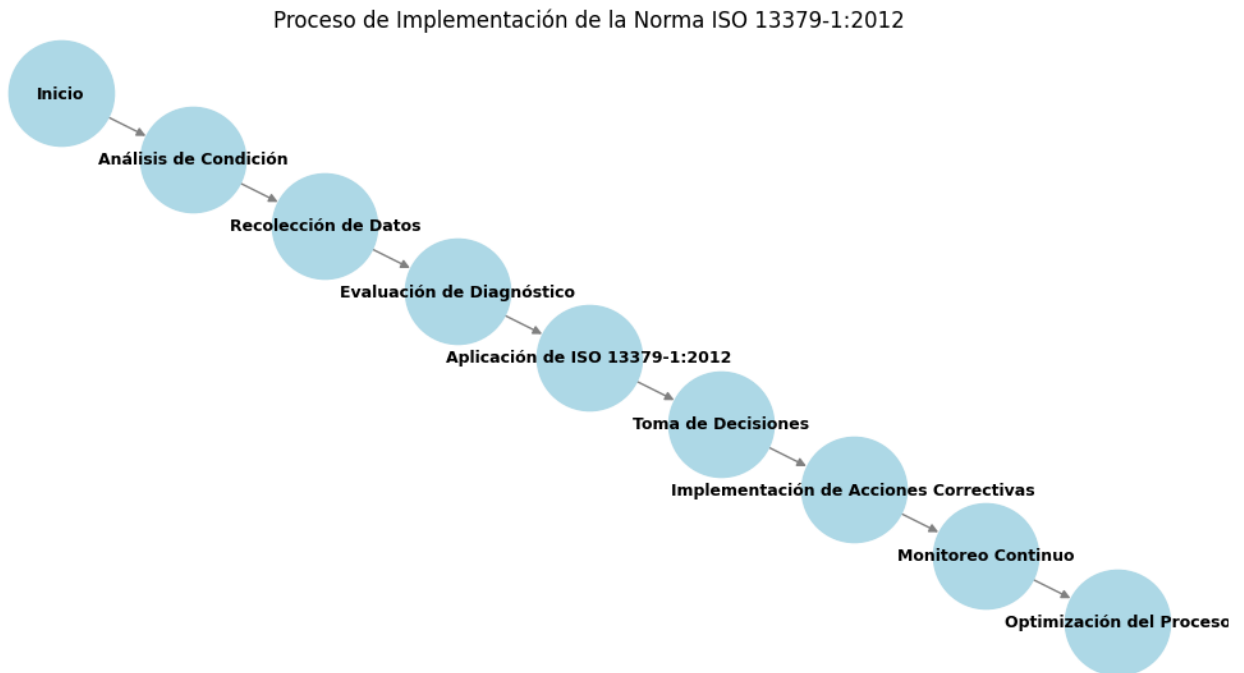


Figura 9: Proceso de implementación de ISO13379-1:2012.

(Fuente: Elaboración propia).

Estos resultados muestran que la norma ISO13379-1:2012 presenta un alto potencial para la optimización del mantenimiento basado en condición, pero su adopción aún enfrenta desafíos importantes en la estandarización y capacitación del personal.

**CAPITULO 3: PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA NORMA ISO
13379-1:2012 EN EL DIAGNÓSTICO DE CONDICIONES DE MÁQUINAS**

3.1. CONTEXTO DE APLICACIÓN

La propuesta de implementación de la norma ISO 13379-1:2012 se plantea en un entorno industrial donde el diagnóstico de condiciones de máquinas es fundamental para garantizar la continuidad operativa y la confiabilidad de los equipos.

Este tipo de diagnóstico resulta especialmente relevante en instalaciones con equipos rotativos, sistemas hidráulicos o componentes críticos como bomba, motores y compresores, los cuales suelen estar sujetos a desgastes, vibración y otras condiciones que afectan su desempeño.

Aunque esta propuesta es adaptable a diversos sectores, se toma como referencia un modelo genérico de planta industrial con sistemas mecánicos críticos, donde el monitoreo de condición y la detección temprana de fallas son una necesidad operativa real. En muchas organizaciones, el mantenimiento aun depende de rutinas fijas o experiencia del personal, sin aplicar metodologías diagnósticas normadas, lo que puede derivar en intervenciones tardías o decisiones poco fundamentadas.

La adopción de la ISO 13379-1:2012 permite estructurar el proceso de diagnóstico técnico, estandarizar criterios de evaluación y facilitar la integración con tecnologías emergentes, contribuyendo a una gestión del mantenimiento más confiable, trazable y eficiente.

3.2. OBJETIVOS DE LA IMPLEMENTACIÓN

El objetivo general de esta propuesta es aplicar los alineamientos de la norma ISO13379-1:2012 para estructurar el diagnóstico de condiciones de máquinas, facilitando la identificación temprana de fallas y mejorando la toma de decisiones técnicas en mantenimiento.

Objetivos específicos:

- Analizar un procedimiento de diagnóstico basado en síntomas técnicos y relaciones causa-efecto.
- Evaluar metodologías como el análisis de síntomas y el FMSA para aumentar la precisión diagnóstica.
- Integrar el proceso de diagnóstico en sistema de monitoreo de condición y CMMS.
- Proponer herramientas tecnológicas y normativas complementarias que fortalezcan la implementación.

3.3. REQUERIMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN

La implementación efectiva de la norma ISO 13379-1:2012 requiere la disponibilidad de ciertos recursos técnicos, humanos y organizacionales. A continuación, se describen los principales requerimientos que deben estar presentes o desarrollarse previamente para asegurar una aplicación exitosa:

3.3.1. TECNOLOGÍA

Es indispensable contar con sensores adecuados para el monitoreo de condición (vibración, temperatura, ultrasonido, presión, etc.), así como sistemas de adquisición y procesamiento de datos en tiempo real. Herramientas como SCADA, CMMS (Computerized Maintenance Management System) y software de análisis predictivo) por ejemplo, MATLAB, DADISP, SKF, @ptitude, entre otros) permite visualizar tendencias, generar alertas y correlacionar síntomas técnicos. La conectividad y compatibilidad de estas plataformas es esencial para un sistema robusto.

3.3.2. CAPITAL HUMANO

El personal técnico debe estar capacitado en diagnóstico estructurado, interpretación de síntomas y aplicación de metodologías como FMSA. Esto implica entrenamiento en las normas ISO relacionadas (13379, 17359, 13381), así como el desarrollo de competencias para trabajar con datos complejos y tomar decisiones basadas en evidencia técnica. La capacitación continua es un factor clave para asegurar la sostenibilidad del sistema de diagnóstico.

3.3.3. PROCEDIMIENTOS Y DOCUMENTACIÓN

es necesario contar con procedimientos internos claramente definidos, alineados con la estructura de la norma. Esto incluye guías para la identificación de síntomas, criterios para asignar niveles de confianza al diagnóstico, protocolos para validación cruzada y formatos estandarizados para la elaboración de informes técnicos (por ejemplo, el modelo del Anexo E de la norma). Esta documentación debe formar parte del sistema de gestión del mantenimiento y estar disponible para todos los actores involucrados.

3.3.4. INFRAESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

La implementación requiere respaldo institucional: asignación de roles y responsabilidades, integración con los planes de mantenimiento existentes, y apoyo desde la gerencia. Sin una estructura organizacional alineada con los objetivos diagnósticos, la norma puede quedar reducida a una aplicación parcial o ineficaz.

3.3.5. ESTRATEGIAS COMPLEMENTARIAS PARA FORTALECER LA IMPLEMENTACIÓN DE ISO 13379-1:2012

Además, se han identificado áreas estratégicas que requieren intervención a nivel estructural para favorecer la implementación de la norma en distintos contextos industriales. Estas propuestas, más allá del plano técnico, involucran actores clave como centros educativos, instituciones gubernamentales y empresas tecnológicas.

En Tabla 11 se muestra un resumen de estas propuestas estratégicas, señalando área de mejora, la acción recomendada, el beneficio esperado y los actores responsables de su ejecución:

Área de Mejora	Propuesta	Beneficio Esperado	Responsable
Capacitación y Especialización	Implementar cursos de certificación en ISO 13379-1:2012 en universidades y centros de formación técnica.	Mayor especialización en diagnóstico de fallas y aumento de profesionales capacitados en mantenimiento predictivo.	Universidades, centros de formación y empresas industriales
Digitalización y Sensores	Fomentar la adopción de sensores inteligentes y monitoreo en línea.	Detección temprana de fallas y optimización del mantenimiento basado en condición.	Empresas del sector industrial y tecnológico
Automatización e Industria 4.0	Integración de Big Data, inteligencia artificial y aprendizaje automático en el diagnóstico de fallas.	Predicciones más precisas y reducción de costos operativos.	Empresas de software y centros de innovación

Tabla 9: Tabla 10: Propuestas de mejora para la implementación de ISO 13379-1:2012 en la industria chilena

(Fuente: Elaboración propia).

Área de Mejora	Propuesta	Beneficio Esperado	Responsable
-----------------------	------------------	---------------------------	--------------------

Financiamiento e Incentivos	Creación de fondos gubernamentales para la digitalización del mantenimiento.	Aceleración en la adopción de tecnologías predictivas en la industria.	Gobierno y entidades de financiamiento industrial
Normativas Locales	Desarrollo de guías y regulaciones que faciliten la adopción de ISO 13379-1:2012 en distintos sectores.	Mayor alineación con estándares internacionales y mayor competitividad industrial.	Instituciones normativas y asociaciones industriales

Tabla 11: Propuestas de mejora para la implementación de ISO 13379-1:2012 en la industria chilena (continuación).

(Fuente: Elaboración propia).

Estas iniciativas reflejan que la implementación no depende únicamente de la técnica, si no también de un compromiso multisectorial que impulse su aplicación en la industria nacional.

3.4. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

Se plantea un modelo escalable y replicable para aplicar ISO 13379-1:2012, Sus etapas principales son:

- **Análisis de criticidad y priorización:** Identificar equipos críticos mediante FMCA o matriz de riesgo.
- **Diseño de monitoreo (ISO 17359):** Definir variables, seleccionar sensores, establecer frecuencias de medición.
- **Captura y procesamiento de datos:** Integrar sensores a plataformas SCADA, CMMS para asegurar trazabilidad.

- **Diagnóstico estructurado (ISO 13379-1):** Relacionar síntomas con modos de falla aplicando FMSA.
- **Validación cruzada y análisis causal (IEC 62740):** Contrastar diagnósticos con datos históricos y diagramas causa-efecto.
- **Informe técnico estructurado:** Documentar hallazgos, diagnósticos, confianza y recomendaciones.
- **Retroalimentación y mejora continua:** Evaluar impacto, ajustar criterios y actualizar procedimientos.

A continuación, en la Figura 10 se presenta un esquema de esta propuesta metodológica

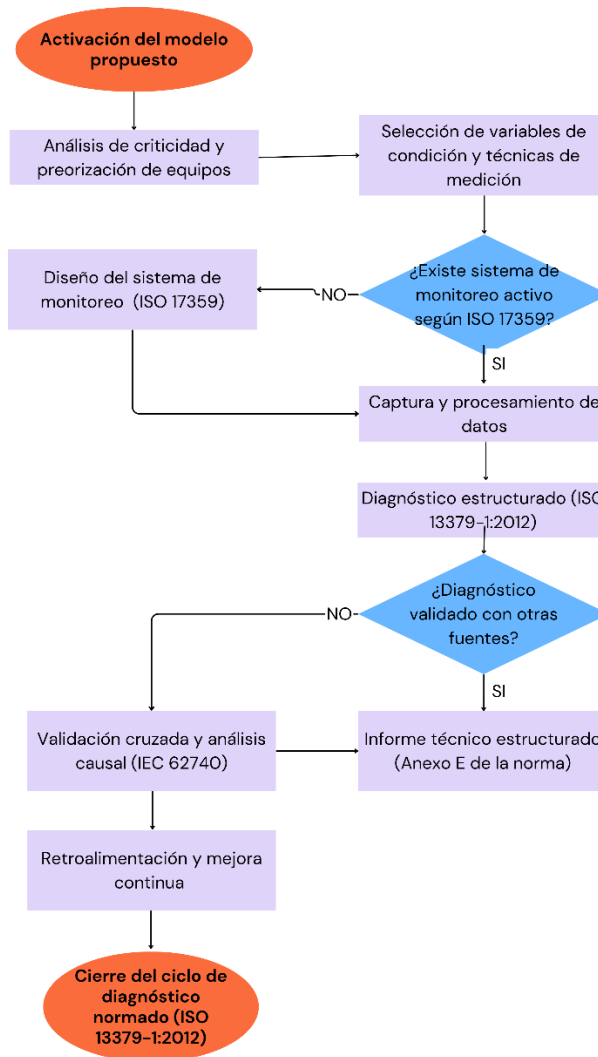


Figura 10: Diagrama de flujo de la propuesta de implementación

(Fuente: Elaboración propia)

La Figura 10 resume el flujo de diagnóstico desde la priorización de equipos hasta la retroalimentación organizacional, integrando etapas normativas y de mejora continua.

3.5. INTEGRACIÓN DE NORMAS COMPLEMENTARIAS

Tal como se explica en el punto **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en relación con otras normas, la aplicación efectiva de la norma ISO 13379-1:2012 no ocurre de forma aislada. Existen otras normas que abordan etapas complementarias del proceso de mantenimiento basado en condición. Sin embargo, en esta propuesta, dichas normas se consideran específicamente en función de su utilidad práctica dentro del esquema de implementación aquí planteado.

A continuación, se detalla cómo cada una de estas normas puede ser integrada como soporte metodológico dentro de los pasos en la propuesta:

- **ISO 17359:** Su aplicación es condición previa al diagnóstico estructurado, ya que, define el sistema de monitoreo de condición. Permite seleccionar las variables, establecer las frecuencias de medición y configurar los criterios de alerta necesarios para la detección de síntomas.
- **ISO 13381-1:** Esta norma puede integrarse en etapas posteriores al diagnóstico, ya que, entrega lineamientos para el diagnóstico de fallas, permitiendo estimar la vida útil remanente y apoyar decisiones de planificación de mantenimiento.
- **IEC 60812 (FMECA):** Resulta útil para identificar modos de fallas, críticos y orientar la selección del equipo que será diagnosticado. Se sugiere su uso en la fase inicial del proceso propuesto, como parte del análisis de criticidad.
- **IEC 62740:** aporta metodologías de análisis de causa raíz, como el árbol causal, que pueden ser utilizadas en la etapa de validación del diagnóstico técnico, especialmente en fallas complejas o repetitivas.

Estas normas lejos de competir entre sí se complementan y permiten fortalecer cada etapa del proceso propuesto. Incorporarlas adecuadamente asegura que la implementación de la ISO 13379-1:2012 no sea una acción aislada, sino parte de una estrategia integrada y sostenible de mantenimiento predictivo.

3.6. RELACIÓN CON TECNOLOGÍAS EMERGENTES

El desarrollo tecnológico está avanzando hacia la digitalización industrial, lo que abre una oportunidad para integrar ISO 13379-1:2012 con tendencias como:

- Industria 4.0: Uso de sensores IoT para el monitoreo en tiempo real.
- Big Data y análisis predictivo: Procesamiento de grandes volúmenes de datos para anticipar fallas.
- Inteligencia artificial: Algoritmos de machine learning aplicados al diagnóstico de condiciones de máquinas.

En la, se presenta un esquema de integración de la norma ISO 13379-1:32012 con tecnologías emergentes para mejorar su aplicabilidad en la industria chilena.

Integración de ISO 13379-1:2012 con Tecnologías Emergentes

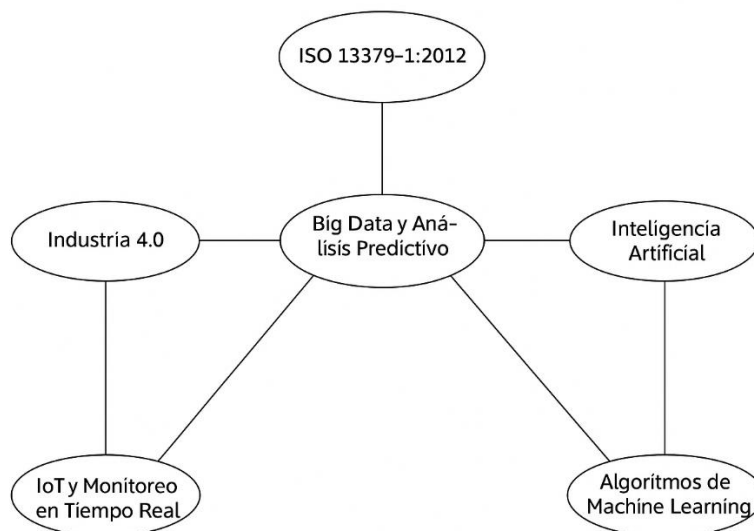


Figura 11: Integración de ISO 13379-1:2012 con tecnologías emergentes.

(Fuente: Elaboración propia)

La Figura 11 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** representa la integración de la norma ISO13379-1:2012 con tecnologías emergentes dentro del contexto de la industria 4.0. Las líneas presentes en el diagrama indican relaciones de complementariedad funcional y flujo de información entre elementos tecnológicos que permiten fortalecer el diagnóstico de condiciones de máquinas.

Desde el nodo central, la ISO 13379-1:2012 se conecta con tres pilares tecnológicos clave:

- Industria 4.0, como el marco conceptual que promueve la digitalización industrial y la interconectividad.
- Big data y Análisis Predictivo, que viabilizan la recolección, almacenamiento y procesamiento de grandes volúmenes de datos provenientes del monitoreo.
- Inteligencia Artificial, que permite automatizar el diagnóstico mediante algoritmos entrenados con datos históricos.

La implementación de la norma ISO 13379-1:2012 presenta un gran potencial para optimizar el mantenimiento basado en condición, pero aún enfrenta desafíos en términos de capacitación, inversión y resistencia al cambio. Sin embargo, con estrategias adecuadas como la digitalización, la automatización y el acceso al financiamiento, es posible fortalecer su adopción y generar beneficios a largo plazo en la confiabilidad y eficiencia operativa de distintos sectores industriales.

A corto plazo, la prioridad es la capacitación y certificación de profesionales en ISO 13379-1:2012, ya que, la falta de conocimiento técnico es una barrera clave. Paralelamente, la industria energética y manufacturera pueden liderar la adopción de la norma, debido a su infraestructura tecnológica avanzada. Finalmente, la implementación de incentivos gubernamentales puede acelerar la digitalización del mantenimiento

basado en condición, asegurando que las empresas chilenas sean más competitivas a nivel internacional.

3.7. BARRERAS MÁS COMUNES EN LA IMPLEMENTACIÓN DE ISO 13379-1:2012

Una condición necesaria para la aplicación efectiva de la ISO 13379-1:2012 es contar previamente con un sistema de monitoreo de condición activo y confiable, como el definido en la norma ISO 17359. Esta norma establece las pautas para la selección de equipos, variables de medición, métodos de análisis y criterios de evaluación que permiten detectar síntomas de falla en una etapa temprana, Sin esta base preliminar, la aplicación de la ISO 13379-1 se ve limitada, ya que su enfoque diagnóstico depende de la disponibilidad de síntomas relevantes obtenidos mediante monitoreo sistemático. Por ello, una barrera crítica en la implementación de la norma es la inexistencia o deficiencia en los sistemas de monitoreo previos, los cuales deben estar operativos para que el proceso diagnóstico sea viable y confiable.

A pesar del potencial de la norma, existen barreras que dificultan su adopción en la industria:

- Falta de especialización técnica: Existen pocos programas de formación específicos en el diagnóstico de fallas basado en esta norma.
- Baja inversión en digitalización: Muchas empresas aún dependen de estrategias de mantenimiento correctivo y preventivo tradicionales.
- Costo de implementación: La adquisición de sensores inteligentes, software de análisis y capacitación requiere inversiones significativas.

- Resistencia al cambio: Algunas industrias aún no perciben la necesidad de adoptar metodologías avanzadas de monitoreo de condición.

3.8. RECOMENDACIÓN BASADA EN LOS ESTUDIOS ANALIZADOS

El análisis de literatura técnica realizado en esta tesis permitió identificar diversos enfoques para el diagnóstico de condiciones de máquinas, muchos de ellos alineados parcial o totalmente con la norma ISO 13379-1:2012. A partir de esos casos, se extraen recomendaciones prácticas que pueden guiar la implementación efectiva de la norma en contextos industriales reales.

Estas recomendaciones surgen del cruce entre lo que establece la norma y las buenas prácticas observadas en tesis, artículos y experiencias internacionales, y están organizadas para facilitar su aplicación progresiva:

- I. Iniciar con pilotos sobre equipos críticos:** Comenzar con un equipo de alta criticidad permite validar la metodología en un entorno controlado, identificar ajustes necesarios y obtener evidencia concreta de su efectividad. Esta estrategia fue empleada con éxito en el estudio de (Jiménez Fuentes, 2022), donde se evaluó la eficiencia del diagnóstico mediante una implementación piloto.
- II. Adaptar el análisis FMSA al contexto técnico local:** Aunque la norma propone un formato estándar de análisis, su efectividad depende de su educación al tipo de industria, el conocimiento técnico disponible y las variables monitoreadas. En los trabajos de (García Cumbe, 2021) y (Santiz Morales, 2019), la personalización del FMECA o FMSA permitió mayor precisión en la identificación de fallas.
- III. Capacitar al personal en diagnóstico estructurado:** La correcta aplicación de la norma exige que los técnicos comprendan la lógica del diagnóstico basado en síntomas y análisis de falla. (Lira Nuñez, 2017) y (Mosquera Delgado, 2019),

resaltan la importancia de formar al personal en interpretación de datos y análisis causal para asegurar un diagnóstico confiable.

- IV. Integrar herramientas tecnológicas y reportabilidad digital:** El uso de sensores, plataformas de monitoreo y software especializado mejora la trazabilidad del proceso y permite actuar en tiempo real. En el estudio de (Wagner & Bernd Hellingrath, 2021) se ejemplifica cómo la integración tecnológica agiliza el diagnóstico y la toma de decisiones.
- V. Documentar el proceso y mantener trazabilidad:** La norma enfatiza la importancia de registrar los síntomas el análisis realizado, el diagnóstico emitido y las recomendaciones técnicas. (González Jaramillo, 2024) implementa reportes técnicos como parte del diagnóstico vibracional, alineado con lo propuesto en la norma.
- VI. Alinear propuestas con tecnologías ya existentes en la organización:** En muchos casos, las empresas ya aplican FMCA, el análisis de vibraciones o mantenimiento predictivo. (Rodas Peña, 2019) y (Ruiz Acevedo, 2012) muestran que integrar estas herramientas bajo una estructura basada en la norma permite mejora la coherencia y efectividad del sistema diagnóstico.

Estas recomendaciones permiten analizar la propuesta metodológica presentada en este capítulo y guiar su aplicación futura. Su origen en estudios reales tanto nacionales como internacionales, las valida como buenas prácticas replicables. Asimismo, forman un puente natural entre el marco normativo u la realidad operacional de la industria.

3.9. APLICACIÓN PROGRESIVA Y LINEAMIENTOS PARA VALIDACIÓN FUTURA

La propuesta metodológica presentada permite operacional la ISO 13379-.1:2012 en entornos reales, mediante un modelo progresivo y adaptable.

Su valor radica en reducir la brecha entre la teoría normativa y la realidad operacional, integrando capacitación, digitalización y compromiso constitucional. Esto establece una base sólida para validar futuras aplicaciones y avanzar hacia un mantenimiento predictivo coherente con los principios de la industria 4.0.

3.9.1. VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA EN CONTEXTO CHILENO

Aunque la propuesta metodológica presentada en este capítulo ha sido diseñada como un modelo replicable y adaptable a distintos sectores industriales, es importante contextualizar su aplicación en el escenario nacional. En Chile, la industria minera y energética representan entornos altamente relevantes para la implementación de la norma ISO 13379-1:2012, debido a la criticidad de los equipos rotativos y el elevado costo asociado a fallas no previstas.

Si bien actualmente no se dispone de casos publicados que documenten la aplicación directa de esta norma en el país, los desafíos que enfrenta la minería y la energía en materia de confiabilidad operativa constituyen un terreno fértil para la adopción de un modelo de diagnóstico normado. En particular, la creciente digitalización en faenas mineras y plantas de generación eléctrica de Chile brinda una oportunidad para validar y escalar la metodología propuesta.

3.10. MÉTRICAS DE VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

Para evaluar la efectividad de la propuesta de implementación de la norma ISO 13379-1:2012 en el diagnóstico de condiciones de máquinas, es necesario establecer métricas comparativas que permitan contrastar sus resultados frente a las prácticas de mantenimiento actualmente utilizadas en la industria chilena, las cuales se basan mayormente en esquemas preventivos programados o correctivos reactivos.

Las métricas propuestas no buscan validar resultados empíricos inmediatos, sino establecer una base de referencia evaluativa que permita medir el impacto potencial de la

metodología cuando sea aplicada en entornos industriales reales, especialmente en sectores como la minería y la energía.

Indicadores técnicos y operacionales:

- **MTBF (Tiempo medio entre fallas):** Aumento esperado debido a la detección temprana de síntomas críticos.
- **MTTR (Tiempo medio de reparación):** reducción proyectada gracias a diagnóstico más precisos y localización temprana de fallas.
- **Disponibilidad operacional (%):** Incremento en la disponibilidad de equipos críticos al disminuir las detenciones no planificadas.
- **Confiabilidad del diagnóstico (% de diagnóstico acertados):** Proporción de diagnóstico confirmados por validación cruzada respecto al total de diagnósticos emitidos.

Indicadores económicos:

- **Reducción de costos de mantenimiento:** Comparativa entre el costo de intervenciones correctivas tradicionales y el costo proyectado de mantenimiento basado en condición.
- **Retorno de inversión de la implementación:** Evaluación costo-beneficio considerando adquisición de sensores, software y capacitación frente a los ahorros generados.

Indicadores normativos y organizacionales:

- **Grado de adopción de la norma (%):** Número de procedimientos internos alineados con ISO 13379-1:2012 respecto al total de procedimiento de diagnóstico.
- **Capacitación del personal (%):** Proporción de técnicos entrenados en diagnóstico estructurado sobre el total de personal de mantenimiento.

- **Cumplimiento de protocolos de informe (ISO 13379-1):** Porcentaje de informes técnicos emitidos según el formato normativo recomendado.

En un escenario de validación futura, estas métricas deberán ser comparadas antes y después de implementar la propuesta, lo que permitirá cuantificar las mejoras y demostrar objetivamente la superioridad de un mantenimiento basado en diagnóstico normado frente a prácticas correctivas o preventivas.

CONCLUSIONES

El análisis realizado confirma que la norma ISO 13379-1:2012 constituye un marco estratégico para estructurar el diagnóstico de condiciones de máquinas, aportando lineamientos claros para la interpretación de síntomas y la toma de decisiones en mantenimiento basado en condición. A lo largo de esta investigación se comprobó que la aplicación de procedimientos de diagnóstico basado en síntomas técnicos y relaciones causa-efecto permite reducir la incertidumbre y aumentar la precisión del proceso, especialmente cuando se complementa con metodologías como el FMSA o el análisis vibracional. Así mismo, se identificó que la integración de estos enfoques en sistema de monitoreo de condición y plataformas de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) es un requisito fundamental para asegurar la trazabilidad de la información y optimizar la confiabilidad operativa.

Los resultados evidencian que los sectores de la manufactura y energía han alcanzado mayores avances en la adopción de la norma, logrando mejoras en disponibilidad, reducción de fallas y disminución de costos. Sin embargo, en áreas como minería y telecomunicaciones persisten barreras relacionadas con la digitalización, la capacitación técnica y la inversión en sensores inteligentes. Estas diferencias reflejan que la efectividad de la norma depende del nivel de madurez tecnológica de cada sector, lo que representa una oportunidad para desarrollar estrategias de implementación adaptadas a las realidades locales.

El estudio reconoce como limitaciones la baja cantidad de investigaciones publicadas específicamente sobre la norma, la concentración de evidencia en sectores más desarrollados y la ausencia de estudios aplicados en Chile. Estas restricciones impiden generalizar completamente los resultados y demuestran la necesidad de avanzar hacia proyectos piloto en entornos industriales reales.

En conclusión, la ISO 13379-1:2012 presenta un alto potencial para fortalecer el mantenimiento predictivo y estandarizar el diagnóstico de fallas, pero su implementación requiere superar desafíos asociados a la capacitación, la inversión tecnológica y la estandarización metodológica. La integración con normas complementarias como ISO 17359 e ISO 13381-1, junto con tecnologías emergentes vinculadas a la industria 4.0, permitirá en el futuro consolidar un enfoque de diagnóstico más preciso, sostenible y alineado con las necesidades de la industria nacional.

Bibliografía

- Aldaz Calero, J. (2023). *ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICIÓN PARA EQUIPOS CRÍTICOS DE LA PLANTA DE PINTURA EN LA EMPRESA CIAUTO CIA.LTDA*. Trabajo de Integración Curricular, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Facultad de Mecánica, Riomba - Ecuador. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/19213>
- García Cumbe, C. (2021). *Diseño de un modelo de gestión de mantenimiento basado en condición para la empresa proveedora de servicios de internet (ISP) Mundo Wireless del Cantón Cuenca*. Tesis, Cuenca.
- González Jaramillo, K. A. (2024). *IMPLEMENTACIÓN DEL DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL EN LA UNIDAD DE GENERACIÓN UNO DE LA EMPRESA CELEC EP HIDROAGOYÁN*. Tesis, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Mecánica, Riomba - Ecuador. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/23414>
- IEC 62740. (s.f.). *Toot Cuse Analysis*. Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0055980>
- Jiménez Fuentes, A. (2022). *Gestión de la efectividad del pronóstico y diagnóstico en un programa de monitoreo de condición*. Informe técnico sobre monitoreo de condición.
- Lira Nuñez, D. (2017). *Diagnóstico de máquinas basados en ISO 13379-1:2012*.
- Mosquera Delgado, H. A. (2019). *Plan de mantenimiento del filtro clarificador N° 01 bajo la metodología AMFEC en la Empresa Óxidos de Pasco S.A.C. INFORME DE EXPERIENCIA PROFESIONAL*, Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Mecánica, Huancayo. Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5520>
- Organización Internacional de Normalización (ISO). (s.f.). *BS ISO 13379-1:2012*. (M. d.-t. datos, Trad.) Obtenido de <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/03/98/39836.html>
- Rodas Peña, P. (2019). *Gestión de la información para la elaboración de un plan de mantenimiento basado en condición con monitoreo en línea de la maquinaria del área de vulcanización TT (Truck Tires) en Continental Tire Andina S.A*. Tesis, Universidad del Azuay, Departamento de Postgrados, Cuenca - Ecuador.

Ruiz Acevedo, A. M. (2012). *Modelo para implementación de mantenimiento predictivo en las facilidades de producción de petróleo*. universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas.

Santiz Morales, J. R. (2019). *DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA EL ÁREA*. Trabajo de graduación, Universidad de San carlos de Guatemala, Escuela de Ingeniería Mecánica. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/13831/>

UNE-EN IEC 60812. (s.f.). *IEC 60812*. Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0060715>

Wagner, C., & Bernd Hellingrath. (2021). *Apoyo a la implementación del mantenimiento predictivo - Un modelo de referencia de procesos*. Investigación científica, Universität Münster, Münster.

ANEXOS

Anexo C: Análisis comparativo de modelos de diagnósticos.

Diagnóstico método	Conocimientos utilizados	Puntos fuertes	Puntos débiles	Aplicaciones típicas y referencias
Basado en reglas	Experiencia humana	<ul style="list-style-type: none"> — Relativamente simple de implementar 	<ul style="list-style-type: none"> — Incompletitud — Dificultad para explicar fallas múltiples — Mala explicación capacidad — Fragilidad ante los cambios del sistema 	<ul style="list-style-type: none"> — Maquinaria rotativa diagnóstico — Diagnóstico médico
Falla causal	Descripción de la avería mecanismo y propagación	<ul style="list-style-type: none"> — Diagnóstico explicativo — Manejo de múltiples fallas independientes 	<ul style="list-style-type: none"> — Requiere buena conocimiento de lo posible fallas (probadas equipo) — Incompleto 	<ul style="list-style-type: none"> — Maquinaria rotativa diagnóstico — Diagnóstico médico
Primeros principios	Descomposición y función de transferencia de equipo	<ul style="list-style-type: none"> — No requiere conocimiento de fallas (equipo nuevo) — Maneja bien múltiples fallas — Da flexibilidad a la modificación del sistema, FMEA, generación de pruebas, Análisis de diagnóstico 	<ul style="list-style-type: none"> — No explicativo diagnóstico — Posible aberración diagnóstico — Complejidad del modelo en ciertos dominios 	<ul style="list-style-type: none"> — Diagnóstico de circuitos electrónicos o de fluidos — Motores de automóviles y sistemas de control
Estadístico Basado en casos razonamiento	Muestras de importancia casos de diagnóstico pasados	<ul style="list-style-type: none"> — Acércate bien comprendido — No requiere conocimientos profundos de disfunciones 	<ul style="list-style-type: none"> — Dificultad para obtener un número suficiente de importancia significativa, bien-casos descritos 	<ul style="list-style-type: none"> — Motor de avión diagnóstico
Clasificación árboles Bosques aleatorios (RF) Logístico regresión (LR) Redes neuronales Vector de soporte máquinas (SVM)	Muestras de importancia casos de diagnóstico pasados y datos asociados	<ul style="list-style-type: none"> — No requiere conocimientos profundos de disfunciones — RF puede acomodar datos faltantes 	<ul style="list-style-type: none"> — No explicativo diagnóstico — Dificultad para obtener un número suficiente de importancia significativa, bien-casos descritos 	<ul style="list-style-type: none"> — Cualquier aplicación

Anexo E: Ejemplo de informe de diagnóstico

INFORME DIAGNÓSTICO (hoja 1 de 3)	
DIAGNÓSTICO REALIZADO POR	FECHA
IDENTIFICACIÓN DE LA MÁQUINA	
ANOMALÍA QUE IMPULSO EL DIAGNÓSTICO	
SÍNTOMAS GLOBALES VALIDADOS	
1	
2	
3	
4	
FALLA #1 (MÁS PLAUSIBLE)	
Componente	Falla, nombre del modo de falla
SÍNTOMAS NECESARIOS VALIDADOS	
1	
2	
3	
SÍNTOMAS DE REFUERZO VALIDADOS	
1	
2	
3	

INFORME DIAGNÓSTICO (hoja 2 de 3)

FALLA #2 (MENOS PLAUSIBLE)

Componente

Falla, nombre del modo de falla

SÍNTOMAS NECESARIOS VALIDADOS

- 1
- 2
- 3

SÍNTOMAS DE REFUERZO VALIDADOS

- 1
- 2
- 3

CAUSA(S) DE LOS MODOS DE FALLA o CAUSA RAÍZ

MODO DE FALLO N.º 1

MODO DE FALLO N.º 2

HISTORIA DE LA MAQUINA

CASOS SIMILARES ENCONTRADOS

CRITICIDAD DE LAS FALLAS

MODO DE FALLO N.º 1

MODO DE FALLO N.º 2

NIVEL DE CONFIANZA

MODO DE FALLO N.º 1

MODO DE FALLO N.º 2

INFORME DIAGNÓSTICO (hoja 3 de 3)

HIPÓTESIS DE FALLA RECHAZADAS Y SÍNTOMAS NECESARIOS NO VALIDADOS

ACCIÓN CORRECTIVA PROPUESTA

— Acciones de mantenimiento requeridas, retraso máximo antes de la acción de mantenimiento

— Operación modificada provisional

COMENTARIOS OBTENIDOS: RECOMENDACIÓN PARA EVITAR FALLAS

AUTOR

FIRMA

Anexo F: Ejemplo de modelado de árbol de causal obtenido desde norma ISO 13379-1:2012.

