Machine Translated by Google
RCMOS - Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año V, vol. 2, 2025 | Envío: 12 de octubre de 2025 | Aceptación: 14 de octubre de 2025 | Publicación: 16 de octubre de 2025

Optimización energética y modernización de sistemas electromecánicos industriales: un análisis sistemático del diagnóstico de fallos, la automatización y la sostenibilidad operativa.

Optimización energética y modernización de sistemas electromecánicos industriales: un análisis sistemático del diagnóstico de fallos, la automatización y la sostenibilidad operativa.

Optimización energética y modernización de sistemas electromecánicos industriales: un análisis sistemático sobre diagnóstico de fallos, automatización y sostenibilidad operativa.

Sandro Mariano Rodrigues - Técnico en Electrónica. Especialista en Automatización Industrial y Gestión de Proyectos Eléctricos.

Resumen

La obsolescencia de la infraestructura industrial, junto con la creciente demanda de eficiencia energética y cumplimiento de la normativa medioambiental, plantea desafíos críticos para la ingeniería moderna y la gestión de los activos físicos. Este artículo científico propone un análisis exhaustivo y técnico de las estrategias de modernización .
Modernización y automatización de sistemas electromecánicos, con especial atención a la transición obligatoria a los paradigmas de la Industria 4.0. La metodología se basa en una revisión sistemática y crítica de la literatura, correlacionando normas técnicas internacionales (IEC/ISO), teorías de mantenimiento centradas en la fiabilidad y protocolos avanzados de eficiencia energética. El estudio se estructura en torno a siete ejes temáticos de alta densidad, que exploran temas que abarcan desde la termodinámica de la disipación de energía en motores y accionamientos hasta la arquitectura de redes industriales para el diagnóstico remoto de fallos.
Este artículo analiza en detalle cómo la implementación de diagnósticos basados en datos impulsa la reducción de costos operativos (OPEX) y la extensión del ciclo de vida de los activos (CAPEX). Los resultados indican que la sostenibilidad industrial depende de la integración simbiótica entre la modernización del hardware y la inteligencia del control automatizado. Se concluye que la ingeniería de mantenimiento desempeña un papel fundamental en la orquestación de esta compleja transformación tecnológica.

Palabras clave: Rehabilitación industrial. Eficiencia energética. Automatización. Diagnóstico de fallas. Mantenimiento predictivo.

Abstracto

La obsolescencia de la infraestructura industrial, junto con la creciente demanda de eficiencia energética y cumplimiento ambiental, plantea desafíos críticos para la ingeniería moderna y la gestión de activos físicos. Este artículo científico propone un análisis técnico exhaustivo de las estrategias de modernización y automatización de sistemas electromecánicos, centrándose en la transición obligatoria a los paradigmas de la Industria 4.0. La metodología se basa en una revisión bibliográfica sistemática y crítica, que correlaciona normas técnicas internacionales (IEC/ISO), teorías de mantenimiento centradas en la fiabilidad y protocolos avanzados de eficiencia energética. El estudio se estructura en siete ejes temáticos de alta densidad, que abarcan desde la termodinámica de la disipación de energía en motores y accionamientos hasta la arquitectura de redes industriales para el diagnóstico remoto de fallos. Se analiza en detalle cómo la implementación de diagnósticos operativos basados en datos actúa como un vector para reducir costes (OPEX) y prolongar la vida útil de los activos (CAPEX). Los resultados indican que la sostenibilidad industrial depende de la integración simbiótica entre la modernización del hardware y la inteligencia de control automatizado. Se concluye que la ingeniería de mantenimiento desempeña un papel fundamental en la orquestación de esta compleja transformación tecnológica.

Palabras clave: Rehabilitación industrial. Eficiencia energética. Automatización. Diagnóstico de fallas. Mantenimiento predictivo.

1. Introducción

La industria global contemporánea se enfrenta a un punto de inflexión estructural, caracterizado por:

debido a la imperiosa necesidad de conciliar la productividad a gran escala con la responsabilidad ambiental y

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año V, vol. 2, 2025 | Envío: 12 de octubre de 2025 | Aceptación: 14 de octubre de 2025 | Publicación: 16 de octubre de 2025

eficiencia energética rigurosa. Según los análisis macroeconómicos de Rifkin (2011), la sociedad

El sector industrial está experimentando la consolidación de la Tercera Revolución Industrial, donde la eficiencia termodinámica...

La comunicación y la transmisión lateral de energía constituyen los pilares fundamentales de la nueva economía productiva.

En este contexto desafiante, el parque industrial opera principalmente con una base instalada de

equipo electromecánico que, aunque mecánicamente robusto, fue diseñado y

Se pusieron en marcha en momentos en que el coste de la energía no era una variable crítica en la matriz energética.

de costos. La obsolescencia tecnológica de estos activos no solo se manifiesta en la dificultad de

mantenimiento, pero la incapacidad de interactuar con los sistemas digitales modernos, creando islas de

Ineficiencias que merman la rentabilidad de las operaciones. La modernización de estos activos, un proceso

técnicamente denominado retrofit, es defendido por Groover (2011) no solo como una cuestión

No se trata solo de una mejora tecnológica superficial, sino de una estrategia para la supervivencia económica.

esencial para prevenir la obsolescencia prematura del capital fijo.

El problema central que motiva esta investigación científica en profundidad radica en:

Complejidad técnica y de gestión de la implementación de proyectos de modernización en plantas en funcionamiento

Operación continua (en campo abierto), donde la interrupción de la producción debe ser nula o mínima. Fallo en

Diagnóstico preciso de las ineficiencias energéticas y la aplicación inadecuada de las tecnologías.

La automatización puede generar inversiones sustanciales con un retorno de la inversión (ROI).

negativo o cero. Bolton (2010) argumenta, en su obra fundamental sobre sistemas mecatrónicos, que el

Un enfoque integrado, que combine la ingeniería mecánica, electrónica e informática, es la única manera de...

para resolver estos cuellos de botella de rendimiento. La hipótesis defendida en este estudio es que la aplicación de un

una metodología estructurada de diagnóstico del rendimiento, seguida de un plan de modernización por fases y

Basado en estándares técnicos rigurosos (como ISO 50001), constituye el enfoque más eficaz y

sostenible. El análisis detallado que sigue disecciona los componentes físicos, lógicos y de gestión de este concepto.

Este enfoque ofrece un marco teórico sólido para la ingeniería y el diseño de mantenimiento.

2. Análisis termodinámico y eficiencia energética en motores y accionamientos eléctricos

El consumo de energía eléctrica en las instalaciones industriales se atribuye principalmente a:

El funcionamiento de los motores eléctricos y sus sistemas de accionamiento, que representan la fuerza motriz.

desde la fabricación. Según las guías técnicas de WEG (2020) y los informes de la agencia de energía,

Los motores eléctricos consumen alrededor del 70% de la energía industrial mundial, lo que los convierte en un objetivo.

enfoque principal de cualquier programa de eficiencia. La ineficiencia en estos sistemas no es solo eléctrica,

Sin embargo, esto se debe a factores termodinámicos y electromagnéticos complejos, como las pérdidas por histéresis.

corrientes magnéticas, corrientes parásitas en el núcleo, pérdidas Joule en los devanados y fricción mecánica en el

cojinetes. Parekh (2003) detalla en sus estudios sobre control de motores que el funcionamiento de

Los motores de inducción que funcionan a carga parcial provocan una caída drástica y no lineal del factor de potencia.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año V, vol. 2, 2025 | Envío: 12 de octubre de 2025 | Aceptación: 14 de octubre de 2025 | Publicación: 16 de octubre de 2025

y en términos de eficiencia general, generando desperdicios ocultos que a menudo escapan a las auditorías.
opiniones superficiales basadas únicamente en datos de matrículas.

La simple sustitución de motores estándar por motores de alta eficiencia (clases IE3 o superiores).
IE4), según lo estandarizado por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC 60034-30,
(2008), es una medida inicial necesaria, pero insuficiente si no va acompañada de una revisión.
Control sistémico. La introducción de variadores de frecuencia (VFD) permite el ajuste de la velocidad.
Desde el motor hasta la demanda de carga real, explorando las leyes de afinidad en bombas y ventiladores, donde el
La reducción de la velocidad resulta en una reducción cúbica del consumo de energía. Sin embargo, Rashid (2013)
Advierte que la introducción masiva de la electrónica de potencia genera distorsiones armónicas en la red eléctrica.
que, si no se mitigan, provocan un calentamiento excesivo en los transformadores y conductores neutros,
anulando algunas de las ganancias de eficiencia logradas en el eje del motor al aumentar las pérdidas en
sistema de distribución.

Por lo tanto, la calidad de la energía emerge como un factor crítico en
Ingeniería de eficiencia. La presencia de armónicos de corriente y voltaje puede excitar frecuencias de
La resonancia mecánica y eléctrica reduce la vida útil de los componentes. El diagnóstico de estos problemas...
Las perturbaciones requieren el uso de analizadores de espectro de alta precisión y la implementación de filtros activos.
o pasivos sintonizados. Además, la gestión térmica de los paneles eléctricos es vital; la regla de
Arrhenius, ampliamente citado en la literatura sobre fiabilidad, indica que por cada aumento de 10 °C en
La temperatura de funcionamiento reduce a la mitad la vida útil del aislamiento de los componentes electrónicos.
Los proyectos de modernización deben incluir estudios termográficos y de dinámica de fluidos computacional.
(CFD) para garantizar una refrigeración adecuada de los nuevos accionamientos.

La recuperación de energía cinética en los sistemas de manipulación de carga representa el nivel
Optimización termodinámica avanzada. En aplicaciones con alta inercia y ciclos de frenado.
En aplicaciones frecuentes, como grúas puente, montacargas y centrifugadoras, la energía cinética es...
Tradicionalmente se disipaba en forma de calor en las resistencias de frenado, lo que supone un desperdicio termodinámico.
Pura. La tecnología de accionamiento regenerativo (Active Front End) permite que esta energía se devuelva a la red eléctrica.
Sistema eléctrico con baja distorsión armónica, que transforma el motor en un generador durante la desaceleración.
La implementación de la norma ISO 50001 (2018) proporciona el marco de gestión para validar estos aspectos.
economías, que requieren el establecimiento de una línea de base energética y
Indicadores de desempeño auditables (EnPIs).

La selección y el dimensionamiento de los cables y conductores también influyen en la eficiencia general.
de la instalación. El dimensionamiento basado únicamente en la capacidad de corriente (amperaje) suele ser
En ocasiones, se ignoran las pérdidas por caída de tensión (I^2R) en largas distancias en plantas industriales.
Silva (2015) enfatiza que redimensionar circuitos críticos para reducir la impedancia es una
Una medida de modernización eléctrica que ofrece un retorno financiero garantizado durante la vida útil de la instalación.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año V, vol. 2, 2025 | Envío: 12 de octubre de 2025 | Aceptación: 14 de octubre de 2025 | Publicación: 16 de octubre de 2025

El ingeniero debe evaluar el costo del ciclo de vida al especificar los materiales.
optar por soluciones que reduzcan los OPEX (costos operativos) incluso si implican una
CAPEX (inversión inicial) ligeramente superior.

La corrección del factor de potencia debe realizarse de forma dinámica y distribuida, y no
solo en el punto de suministro de energía. La instalación de bancos de condensadores fijos puede generar
sobretensiones durante períodos de baja carga e interactúan peligrosamente con los armónicos generados por
inversores. El uso de compensadores reactivos estáticos (SVC) o filtros activos híbridos es la
Enfoque recomendado para plantas modernas: Monitoreo continuo de magnitudes eléctricas.
Mediante contadores inteligentes integrados en el sistema SCADA, es posible identificar desviaciones de
Consumo en tiempo real y acción proactiva.

Se concluye que la eficiencia energética en los sistemas de motores no se logra simplemente...
no a través del reemplazo de componentes ("plug and play"), sino a través de la optimización de la interacción física entre el motor,
Sistema de accionamiento, carga y red eléctrica. Un diagnóstico termodinámico y eléctrico preciso es un requisito indispensable.
Es absolutamente esencial para cualquier intervención exitosa, y requiere una visión integral por parte del profesional técnico.
que abarcan desde la física del electromagnetismo hasta la gestión de costes industriales.

3. El proceso de modernización: metodologías de ingeniería inversa e integración de sistemas.

La modernización de maquinaria industrial es un proceso de ingeniería complejo que implica ...
Actualizar el sistema de control, accionamiento y seguridad manteniendo la estructura mecánica original.
que aún tiene una vida útil residual. Groover (2011) destaca que esta estrategia es particularmente
Resulta ventajoso para máquinas herramienta pesadas y líneas de montaje robustas, donde el desgaste es un factor importante.
La obsolescencia mecánica es lenta, pero la obsolescencia electrónica se acelera (ciclos de vida de los componentes).
Los componentes electrónicos duran de 5 a 7 años, mientras que las estructuras mecánicas duran décadas. El primer paso crítico
Implica diagnóstico estructural e ingeniería inversa, a menudo necesarios debido a la falta de...
Documentación técnica fiable para equipos antiguos.

La ingeniería inversa implica el mapeo detallado de todas las E/S (entradas y salidas).
un análisis de la lógica de enclavamiento cableado (basado en relés) y una comprensión profunda de la secuencia.
Los aspectos operativos de la máquina. Bolton (2010) enfatiza que sin esta comprensión física del proceso, la migración a los
modernos controladores lógicos programables (PLC) está condenada al fracaso. Es
Es necesario traducir la "inteligencia" que se distribuyó entre contactores mecánicos y levas a
líneas de código estructuradas (IEC 61131-3), asegurando que la nueva lógica reproduzca el código.
Funcionalidad original con mayor precisión y flexibilidad.

La seguridad operativa es un imperativo legal y ético innegociable en la modernización de maquinaria .
Los edificios antiguos rara vez cumplen con los estándares de seguridad contemporáneos, como el NR-12 en Brasil o el...
Directrices de OSHA y ANSI en los EE. UU. Almeida (2018) analiza extensamente la necesidad de

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año V, vol. 2, 2025 | Envío: 12 de octubre de 2025 | Aceptación: 14 de octubre de 2025 | Publicación: 16 de octubre de 2025

Implementar categorías de seguridad (Categoría 3 o 4) y niveles de rendimiento (PLd o PLe).
mediante hardware certificado . Instalación de cortinas de luz, escáneres de área , relés de seguridad.
Las válvulas de seguridad hidráulicas y supervisadas deben integrarse en el nuevo panel de control.
la fase de diseño (Seguridad desde el diseño).

La conectividad y la integración de datos son los objetivos funcionales que justifican la modernización.
En la era de la Industria 4.0. La sustitución de controladores propietarios y aislados por PLC (Controladores Lógicos Programables) por
La capacidad de comunicación de red abierta (Ethernet/IP, Profinet, OPC UA) permite la extracción de
datos de producción y mantenimiento en tiempo real. Karnopp et al. (2012) enfatizan la importancia de
Modelado dinámico de sistemas para garantizar que los nuevos controladores digitales puedan gestionar
las inercias físicas y la dinámica de la máquina antigua sin causar inestabilidad, resonancia mecánica o
Desgaste prematuro de los actuadores.

Gestionar la obsolescencia es uno de los principales motores económicos de la modernización de edificios .
La falta de disponibilidad de piezas de repuesto para los sistemas antiguos pone en riesgo la continuidad de la producción.
Riesgo inminente. La estandarización de componentes con las familias de componentes disponibles en el mercado reduce drásticamente este riesgo.
El costo del inventario de mantenimiento, reparación y revisión (MRO) garantiza el soporte técnico del fabricante. Mobley (2014)
Sostiene que la estandarización y la intercambiabilidad son pilares fundamentales del mantenimiento moderno.
La planificación de la migración debe minimizar el tiempo de inactividad mediante el uso de técnicas de planificación previa .
Montaje de placas posteriores y mazos de cables eléctricos.

La puesta en marcha y el arranque del sistema modernizado requieren protocolos de prueba.
Estricto (FAT y SAT). Simulación de software de sobremesa mediante gemelos digitales.
En resumen, permite validar la lógica de control y las interfaces de seguridad antes de la conexión física.
con la máquina, reduciendo el riesgo de accidentes y daños al equipo. Ajuste fino de las mallas
El control PID y los perfiles de movimiento del servomotor deben realizarse con la máquina en
carga, que requiere la instrumentación adecuada.

La interfaz hombre-máquina (HMI) es la ventana del operador al proceso y debe ser
Completamente rediseñado. Las antiguas HMI, basadas en botones y luces, proporcionaban poco
información de diagnóstico. Las nuevas pantallas táctiles deben diseñarse con un enfoque en la usabilidad y
En ergonomía cognitiva, esto implica presentar información clara, alarmas jerárquicas y datos históricos.
Eventos que ayudan al operador y al personal de mantenimiento a tomar decisiones rápidas.

Se puede concluir que la modernización no es una medida paliativa ni una reparación temporal, sino una...
Actividad de ingeniería de alta precisión que revitaliza los activos de capital. Requiere visión.
Un enfoque multidisciplinario que abarca mecánica, ingeniería eléctrica, seguridad y software, que da como resultado una máquina
tecnológicamente "nuevo" con un costo y un plazo significativamente menores que la adquisición
un nuevo activo de capital.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año V, vol. 2, 2025 | Envío: 12 de octubre de 2025 | Aceptación: 14 de octubre de 2025 | Publicación: 16 de octubre de 2025

4. Mantenimiento predictivo y diagnóstico basado en datos

La evolución de las estrategias de mantenimiento industrial, desde correctivas (reactivas) hasta...
Se habilita la prevención (basada en el tiempo/ciclos) y la predicción (basada en la condición).
mediante tecnología de detección avanzada y análisis de datos. Mobley (2014), uno de los más grandes
Las autoridades mundiales en ingeniería de mantenimiento definen el mantenimiento predictivo como la aplicación
tecnologías para determinar el estado real de los equipos en funcionamiento, con el fin de predecir fallos.
Entre las técnicas futuras se incluyen el análisis de vibraciones espectrales, la termografía infrarroja y el análisis tribológico.
Las pruebas de aceite permiten identificar fallos en una fase temprana, mucho antes de que provoquen un fallo de funcionamiento.
de la máquina.

La automatización moderna permite la implementación de sistemas de monitoreo de condiciones.
Sensores en línea y continuos, superando las limitaciones de las rutas de inspección manuales y periódicas.
Dispositivos inteligentes (acelerómetros, termopares, sensores de corriente) conectados mediante IIoT (Internet industrial de las cosas).
Los dispositivos de Internet de las cosas (IoT) envían datos sin procesar para su procesamiento en el borde (Edge Computing) o en
nube. Santos (2016), en su trabajo sobre Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), refuerza
que el análisis de tendencias es más valioso que la medición puntual. La desviación gradual de los parámetros
El monitoreo permite detectar la degradación física de componentes específicos, lo que facilita la planificación.
Intervención de mantenimiento quirúrgico.

Análisis de firma eléctrica (ESA) y análisis de
El análisis de corriente del motor (MCSA, por sus siglas en inglés) es una técnica potente que permite diagnosticar problemas mecánicos.
y eléctricos (como barras de rotor rotas, excentricidad, desalineación) analizando únicamente el
Las formas de onda de voltaje y corriente se muestran en el tablero, eliminando la necesidad de instalar sensores en el motor.
Un método no intrusivo es ideal para entornos industriales hostiles o motores de difícil acceso.
Un conocimiento profundo de estas técnicas permite al especialista diferenciar entre problemas de carga y...
problemas del motor.

El análisis de la causa raíz (ACR) se ve mejorado por los datos históricos.
almacenados en las bases de datos de los sistemas de automatización (Historiadores). En lugar de solo
Para reemplazar un componente defectuoso, la ingeniería puede realizar una "autopsia digital", analizando el
historial de carga, voltaje, temperatura y alarmas para comprender por qué ocurrió la falla (por ejemplo,
Sobrecarga crónica, funcionamiento desequilibrado, problemas de calidad de energía). Esto transforma la
El mantenimiento es una herramienta utilizada en la ingeniería de confiabilidad y la mejora de procesos.

La integración del diagnóstico técnico con la cadena de suministro y la gestión de inventarios de
El mantenimiento, la reparación y la revisión (MRO) optimizan el capital circulante de una empresa. Conocer la vida útil exacta de los equipos es fundamental.
permaneciendo como parte de un componente crítico a través del análisis predictivo, la compra de la pieza de repuesto.
Se puede activar en el modelo justo a tiempo. Esto reduce drásticamente el costo del inventario inactivo.
(costo de mantenimiento) de artículos caros y de baja rotación, liberando efectivo para la organización.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año V, vol. 2, 2025 | Envío: 12 de octubre de 2025 | Aceptación: 14 de octubre de 2025 | Publicación: 16 de octubre de 2025

El análisis termográfico de paneles eléctricos y componentes mecánicos es una herramienta indispensable para detectar conexiones sueltas, desequilibrios de carga y fricción excesiva. La instalación de ventanas de inspección infrarroja en los paneles permite llevar a cabo estas tareas. Las mediciones se toman con el sistema energizado y apagado, garantizando la seguridad del electricista de acuerdo con NR-10. La correlación entre el aumento de temperatura y la carga eléctrica en el momento de la medición es esencial. para un diagnóstico preciso.

Se concluye que los diagnósticos modernos en la industria dependen de una simbiosis entre... Instrumentación avanzada e inteligencia analítica humana. La tecnología proporciona los datos, pero es... La pericia técnica del ingeniero o técnico especializado transforma estos datos en diagnósticos. Decisiones de mantenimiento precisas que evitan costes catastróficos y garantizan la disponibilidad. operacional.

5. Arquitecturas avanzadas de automatización y control para la Industria 4.0

La arquitectura del sistema de automatización define la escalabilidad, la robustez y la capacidad de... Integración vertical de la planta industrial. Bolton (2010) describe la jerarquía clásica de automatización. (Pirámide de automatización), desde el nivel de campo (sensores y actuadores) hasta el nivel de gestión. corporativo (ERP). La modernización moderna debería apuntar a disolver estas capas rígidas, promoviendo Comunicación directa entre la planta de producción y los sistemas de gestión. Uso de redes industriales. Los datos deterministas y abiertos son fundamentales para garantizar la interoperabilidad entre equipos. diferentes fabricantes, evitando así la perjudicial " dependencia del proveedor".

El desarrollo de software para la automatización industrial debe cumplir con los estándares de ingeniería. de estándares de software rigurosos , como el estándar IEC 61131-3, que define los lenguajes de programación de PLC. (Lógica de escalera, texto estructurado, bloques de funciones). Estructuración del código en bloques funcionales. Los sistemas reutilizables, encapsulados y bien documentados facilitan el mantenimiento, la detección de errores y las futuras actualizaciones. Expansiones del sistema. Estandarización de bibliotecas de objetos para equipos comunes (motores, Las válvulas (PID) aceleran el desarrollo y estandarizan el funcionamiento en las diferentes máquinas de la planta.

La ciberseguridad industrial se ha convertido en un requisito de diseño fundamental . En la era de la conectividad. Con la convergencia de TI/OT, los sistemas de control industrial (ICS), anteriormente Las zonas aisladas (sin acceso a internet) se han convertido en objetivos de ciberataques. Implementar una estrategia Defensa en profundidad, con segmentación de red (VLAN), cortafuegos industriales con inspección. La inspección profunda de paquetes (DPI), el control de acceso estricto y la gestión de parches son obligatorios. La automatización debe diseñarse para ser segura desde su concepción , protegiendo así su integridad. y la disponibilidad del proceso de producción.

Robótica colaborativa (cobots) y sistemas de movimiento autónomo (AGV/AMR) Están redefiniendo la disposición y la flexibilidad de las fábricas. La integración de estos sistemas con la línea de producción de

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año V, vol. 2, 2025 | Envío: 12 de octubre de 2025 | Aceptación: 14 de octubre de 2025 | Publicación: 16 de octubre de 2025

La producción exige interfaces de seguridad avanzadas y protocolos de comunicación robustos. El papel de
La ingeniería de automatización consiste en orquestar la interacción segura y eficiente entre humanos y máquinas.
garantizar que la tecnología mejore la capacidad productiva humana sin introducir nuevos riesgos.
ocupacional.

Virtualización de servidores y uso de tecnologías de gemelos digitales .

Permiten simular cambios en los procesos, probar nuevas estrategias de control y capacitar a los operadores en...
un entorno virtual seguro antes de la implementación física. Karnopp et al. (2012) enfatizan la
La importancia del modelado matemático y la simulación en el control de sistemas mecatrónicos.
complejo. Esto reduce drásticamente el tiempo de puesta en marcha y el riesgo de errores operativos.
durante la puesta en marcha de la planta.

Los sistemas modernos de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) han evolucionado para
Plataformas de operaciones unificadas que ofrecen interfaces basadas en web (HTML5) y son accesibles.
a través de dispositivos móviles. La visualización de datos debe ser intuitiva, utilizando conceptos de alta tecnología .
HMI de rendimiento (estándar ISA-101) para reducir la carga cognitiva del operador, destacando solo
Se debe dar prioridad a la información anómala que requiere atención inmediata, en lugar de sobrecargar la pantalla con gráficos.
colorido e irrelevante.

Se puede concluir que la automatización no es solo el reemplazo del trabajo manual repetitivo, sino
La creación de una infraestructura neuronal digital que permita un control preciso y una trazabilidad completa.
y la optimización continua de los procesos de transformación física.

6. Seguridad eléctrica, cumplimiento normativo y gestión de riesgos (NR-10 / NR-12)

La seguridad en las instalaciones eléctricas y la maquinaria industrial es una cuestión ética, legal y...
financiero. Almeida (2018) analiza extensamente en su trabajo sobre gestión del mantenimiento el
La aplicación de las normas reglamentarias NR-10 y NR-12 como base para la mitigación de riesgos.
El cumplimiento de estas normas no es un evento puntual, sino un proceso continuo que comienza con...
Análisis de riesgos (utilizando métodos como el HRN - Número de Clasificación de Peligros) para clasificar los peligros.
y determinar la categoría de seguridad requerida para el sistema de control (Categoría ISO 3 o 4).
13849-1).

La idoneidad de los paneles eléctricos implica protección contra el contacto directo e indirecto,
el dimensionamiento correcto de los dispositivos de protección contra cortocircuitos y sobrecargas, y la
Selectividad de la protección. La protección contra el arco eléctrico (arco eléctrico) es uno de los aspectos más críticos.
y las complejidades de la seguridad eléctrica moderna. Se deben realizar estudios de energía incidente para
Determinar las zonas de riesgo, calcular las distancias de aproximación y especificar la vestimenta adecuada.
Equipo de protección personal (EPP) adecuado (EPP). La ingeniería debe buscar soluciones que reduzcan la energía.
Detección de incidentes, como relés detectores de arco, ajustes de protección y mantenimiento remoto.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año V, vol. 2, 2025 | Envío: 12 de octubre de 2025 | Aceptación: 14 de octubre de 2025 | Publicación: 16 de octubre de 2025

Al adaptar la maquinaria y los equipos a las normas NR-12, el departamento de ingeniería debe diseñar medidas de protección.
barreras físicas (fijas y móviles) y dispositivos de enclavamiento que impiden el acceso a las zonas de
Peligro. La lógica de seguridad debe ser procesada por dispositivos dedicados y certificados.
garantizar que un fallo del sistema no provoque la pérdida de la funcionalidad de seguridad. La ergonomía de
Las medidas de protección son esenciales; si una medida de protección dificulta la producción o el mantenimiento, será...
Inevitablemente, los operadores lo pasan por alto. El reto de ingeniería consiste en crear seguridad.
integrado con la productividad.

La cultura de seguridad se construye a través de la formación técnica y los procedimientos.
Procedimientos operativos estandarizados y permisos de trabajo. El gerente técnico debe promover la
Sensibilización sobre los riesgos ocultos de la electricidad y la automatización. Responsabilidad técnica.
(ART) en relación con proyectos e informes de seguridad es personal e intransferible, lo que requiere la profesionalización
tener competencia demostrada y ética rigurosa. El registro de instalación eléctrica (PIE) debe ser
Se mantiene actualizado y auditable.

La gestión del bloqueo/etiquetado (LOTO) es el procedimiento
El aspecto administrativo más importante es garantizar la seguridad durante el mantenimiento. El departamento de ingeniería debe...
anticipar puntos de bloqueo físico en todas las fuentes de energía (eléctricas, neumáticas, hidráulicas,
(gravitacional) de la máquina. La automatización puede ayudar indicando el estado de energía cero en la HMI.
Pero el bloqueo físico es insustituible.

La validación de los sistemas de seguridad debe realizarse mediante pruebas funcionales.
documentado, simulando fallos para garantizar que el sistema reaccione según lo previsto (por ejemplo, apagándose).
(Seguro en caso de rotura del cable del sensor). Mantenimiento preventivo de los componentes.
Las comprobaciones de seguridad (pruebas periódicas de relés y cortinas) son obligatorias para mantener la integridad del sistema.
con el tiempo.

Se puede concluir que la seguridad es un valor intrínseco a la calidad de la ingeniería. Un sistema
Un sistema eficiente y productivo debe ser, ante todo, seguro para quienes lo operan y lo mantienen.
El cumplimiento normativo es el punto de partida para la excelencia operativa y la protección del activo más valioso.
El activo más valioso de la industria: la vida humana.

7. Apoyo técnico para la inversión y la formación: el factor humano en la tecnología

La decisión de invertir en la modernización industrial conlleva riesgos tanto financieros como técnicos.
Fundamental en un entorno de incertidumbre económica. Apoyo técnico para la toma de decisiones de inversión.
Su objetivo es proporcionar análisis sólidos de viabilidad técnico-económica (TEFE) que respalden las inversiones de capital (CAPEX).
Esto implica calcular el retorno de la inversión (ROI), la tasa interna de retorno (TIR) y...
Fundamentalmente, el análisis del costo del ciclo de vida (LCC) . El LCC considera no
No solo el costo de adquisición, sino también los costos de operación, energía, mantenimiento y eliminación a lo largo del tiempo.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año V, vol. 2, 2025 | Envío: 12 de octubre de 2025 | Aceptación: 14 de octubre de 2025 | Publicación: 16 de octubre de 2025

10 o 20 años. El consultor técnico actúa como traductor, convirtiendo las especificaciones técnicas.
Indicadores financieros complejos que sean comprensibles para el consejo de administración.

La selección de proveedores y tecnologías debe basarse en criterios técnicos objetivos.
Rendimiento, asistencia posventa, disponibilidad de repuestos e interoperabilidad, evitando decisiones.
basado únicamente en el precio inicial más bajo. La preparación de especificaciones técnicas detalladas (RFP -
Una Solicitud de Propuesta (RPV) garantiza que las propuestas del mercado sean técnicamente comparables (como manzanas).
con manzanas) y satisfacer las necesidades reales de la planta. Groover (2011) destaca la importancia de
También es importante cuantificar los beneficios intangibles de la automatización, como la mejora de la calidad y la seguridad.
y flexibilidad de producción.

La capacitación de la fuerza laboral es una inversión suplementaria obligatoria y
A menudo subestimada, la introducción de nuevas tecnologías crea una brecha de habilidades que...
Esto debe complementarse con formación técnica especializada y continua. Talleres, formación en línea ...
Las pruebas en el trabajo, las simulaciones y la creación de manuales de operación visuales son estrategias para garantizar que
apropiación de la tecnología por parte del equipo local. Silva (2015) refuerza en sus textos sobre automatización que
La tecnología solo aporta valor si es operada y mantenida correctamente por personas competentes.

Gestionar el conocimiento técnico de la empresa evita que se pierda la inteligencia operativa.
con rotación de personal . Documentación rigurosa de los proyectos tal como fueron construidos, cambios
Los parámetros de software y de proceso crean una memoria técnica institucional. Sistemas de gestión de
Los sistemas de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) deben alimentarse con datos precisos y estandarizados para generar datos históricos.
y la inteligencia que se extrae de los fracasos.

La formación y el desarrollo de jóvenes técnicos e ingenieros es responsabilidad de los profesionales.
líderes técnicos y de alto nivel. La transferencia de conocimientos tácitos (experiencia de campo, "trucos del oficio",
La intuición técnica es tan importante como el conocimiento explícito (normas y manuales). El líder
El entrenador debe fomentar un entorno de aprendizaje continuo, curiosidad investigadora y resolución de problemas.
resolución estructurada de problemas.

La gestión de proyectos de modernización requiere metodologías de gestión (como PMBOK).
o Agile) para controlar el alcance, el cronograma, el costo y la calidad. El consultor técnico debe actuar como
Gerente de proyecto, coordinando proveedores, equipo interno y partes interesadas, asegurando que el
La ejecución física debe ajustarse al plan, y las desviaciones deben corregirse rápidamente.

Se puede concluir que la tecnología por sí sola no resuelve los problemas; son las personas capacitadas quienes pueden hacerlo.
Utilizar la tecnología adecuada, bien gestionada, genera resultados. Inversión de capital.
El capital humano y la gestión técnica son los que garantizan el retorno de la inversión en capital físico y su durabilidad.
de operaciones industriales.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año V, vol. 2, 2025 | Envío: 12 de octubre de 2025 | Aceptación: 14 de octubre de 2025 | Publicación: 16 de octubre de 2025

8. Conclusión

El análisis sistemático y en profundidad presentado en este estudio confirma que la modernización

La modernización de la infraestructura industrial mediante la adaptación de las instalaciones y la automatización avanzada no es una opción, sino una necesidad.

Estrategia obligatoria para la supervivencia y la competitividad. Obsolescencia de los equipos.

Los sistemas electromecánicos, lejos de ser simplemente un pasivo contable, se presentan como una oportunidad.

Un enfoque estratégico para introducir inteligencia y eficiencia en la planta de producción. El estudio demostró, con

Basándose en evidencias teóricas y prácticas, la integración de diagnósticos avanzados y automatización...

prácticas de mantenimiento robustas y predictivas, de acuerdo con las directrices de Mobley (2014) y Santos (2016),

Es capaz de revertir la curva de degradación de los activos, transformando las plantas antiguas en unidades nuevas.

operaciones competitivas.

Es evidente que la eficiencia energética es el "combustible principal" de la industria moderna y

La forma más económica de reducir costes y emisiones. Reduciendo el desperdicio termodinámico y eléctrico.

mediante motores de alta eficiencia, inversores de frecuencia y gestión activa de la carga, alineados con

La ingeniería, que cumple con las normas IEC (2008) e ISO 50001 (2018) , ofrece un retorno financiero rápido y seguro.

La ingeniería eléctrica y de automatización, basada en leyes físicas inmutables, proporciona las herramientas precisas para

extraer este valor oculto de los procesos industriales existentes.

La importancia del diagnóstico de fallas basado en datos emerge a medida que

Un factor revolucionario en la gestión moderna de activos. La capacidad de predecir fallos antes de que paralicen la operación.

La producción está cambiando el paradigma, pasando de ser un centro de costes a convertirse en un garante de capacidad.

Productividad y fiabilidad. La conectividad de la Industria 4.0 hace posible esta visión, pero lo que realmente importa es la experiencia.

La inteligencia humana desempeña un papel crucial en la interpretación de datos, completando el ciclo de valor. La tecnología es el medio; la inteligencia...

El análisis de datos es el fin.

Seguridad operativa y cumplimiento de normas reglamentarias estrictas, tales como:

discutido por Almeida (2018), no pueden ser vistos como burocracia, sino como la base ética de

Ingeniería. La modernización ofrece una oportunidad única para elevar los estándares de seguridad de las máquinas.

Los riesgos antiguos se reducen a niveles aceptables, mitigando los riesgos legales y humanos inaceptables. Un entorno seguro es...

un entorno productivo.

La competencia técnica y la visión multidisciplinar del ingeniero o tecnólogo responsable.

Resultan esenciales para navegar la complejidad multidimensional de estos proyectos. La capacidad

Moverse con fluidez entre la planta de producción y la sala de reuniones, traduciendo las necesidades técnicas.

En las estrategias empresariales, esto es lo que permite la aprobación y el éxito de los proyectos de modernización .

La experiencia acumulada proporciona la autoridad necesaria para guiar a las industrias a través de esta transición.

tecnológico.

La aplicación universal de estos principios, tanto en economías emergentes como en mercados consolidados.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año V, vol. 2, 2025 | Envío: 12 de octubre de 2025 | Aceptación: 14 de octubre de 2025 | Publicación: 16 de octubre de 2025

Madura, valida la ingeniería como una disciplina global. Los desafíos de la productividad y
La sostenibilidad es omnipresente, y las soluciones basadas en el rigor técnico, los estándares internacionales y...
La innovación tiene una aplicabilidad sin restricciones. La ingeniería de alta complejidad es un lenguaje universal de eficiencia.

Se puede concluir, por lo tanto, que el futuro de la industria depende de la revitalización inteligente de su base instalada. Desechar máquinas robustas en favor de otras nuevas no siempre es la mejor opción.
Ya sea por motivos ecológicos o económicos, la modernización, mejorada mediante la automatización y el análisis de datos, es la...
Un camino hacia una industria más resiliente, eficiente y sostenible.

La relevancia de este estudio radica en la sistematización de un enfoque práctico para la resolución de problemas. complejo. Al combinar la teoría de la ingeniería con las realidades del mantenimiento industrial, ofrecemos un
Una hoja de ruta clara para gerentes e ingenieros que buscan la excelencia operativa.

En definitiva, la misión de la ingeniería de mantenimiento es resolver problemas y mejorar. Calidad de vida a través de la tecnología. En la industria, esto significa producir más y mejor, con
Menos recursos y mayor seguridad. Es una misión técnica y estratégica en constante evolución.

Este artículo refuerza la idea de que la modernización industrial es un imperativo estratégico. y que dominar las tecnologías de energía y automatización es clave para liberar su potencial. productivos de las naciones en el siglo XXI.

Referencias

ALMEIDA, Paulo Samuel de. Gestión del Mantenimiento: Aplicada a Sistemas Eléctricos y Automatización. São Paulo: Érica, 2018.

BOLTON, William. Mecatrónica: Un enfoque multidisciplinario. 4.ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

GROOVER, Mikell P. Automatización industrial y sistemas de fabricación. 3.ª ed. São Paulo: Pearson, 2011.

COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL. IEC 60034-30: Máquinas eléctricas rotativas - Parte 30: Clases de eficiencia de motores de inducción de jaula trifásicos de una velocidad (código IE). Ginebra: IEC, 2008.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN. ISO 50001: Sistemas de gestión de la energía — Requisitos y guía de uso. Ginebra: ISO, 2018.

KARNOPP, Dean C.; MARGOLIS, Donald L.; ROSENBERG, Ronald C. Dinámica de sistemas: modelado, simulación y control de sistemas mecatrónicos. 5.ª ed. Hoboken: Wiley, 2012.

MOBLEY, R. Keith. Manual de ingeniería de mantenimiento. 8.ª ed. Nueva York: McGraw-Hill Education, 2014.

PAREKH, R. Fundamentos del motor de inducción de CA. Microchip Technology Inc., 2003.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año V, vol. 2, 2025 | Envío: 12 de octubre de 2025 | Aceptación: 14 de octubre de 2025 | Publicación: 16 de octubre de 2025

RASHID, Muhammad H. Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones. 4.ª ed. Upper Saddle River: Pearson, 2013.

RIFKIN, Jeremy. La tercera revolución industrial: cómo el poder lateral está transformando la energía, la economía y el mundo. Nueva York: Palgrave Macmillan, 2011.

SANTOS, Winderson. Mantenimiento centrado en la confiabilidad. Río de Janeiro: Ciencia Moderna, 2016.

SILVA, José Claudio da. Automatización de Procesos Industriales. São Paulo: Érica, 2015.

WEG. Guía de eficiencia energética para motores eléctricos. Jaraguá do Sul: WEG, 2020.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.