


Impacto de la Industria 4.0 en los sistemas mecatrónicos: una revisión de normativas internacionales

Impact of Industry 4.0 on mechatronic systems: a review of international standards

- ¹ Daniel Ernesto Carrera Agama  <https://orcid.org/0009-0004-4861-9029>
Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, Quito, Ecuador.
Ingeniero en Mecatrónica
daniel_deca09@hotmail.com
- ² Santiago Efraín Tibanquiza Chunchu  <https://orcid.org/0009-0006-3360-4777>
Università della Calabria, Cosenza, Italia.
Maestrante en Robotics and Automation Engineering
santiagotibanquiza@gmail.com
- ³ Pablo Hernán Taboada Flores  <https://orcid.org/0009-0003-2417-8030>
Università della Calabria, Cosenza, Italia.
Maestrante en Robotics and Automation Engineering
phtaboadaflores@gmail.com
- ⁴ Lando Stephen Ocaña Pañora  <https://orcid.org/0000-0002-4748-5282>
Università della Calabria, Cosenza, Italia.
Maestrante en Robotics and Automation Engineering
landostephen@gmail.com



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 13/08/2024

Revisado: 10/09/2024

Aceptado: 15/10/2024

Publicado: 18/11/2024

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v8i4.3240>

Cítese:

Carrera Agama, D. E., Tibanquiza Chunchu, S. E., Taboada Flores, P. H., & Ocaña Pañora, L. S. (2024). Impacto de la Industria 4.0 en los sistemas mecatrónicos: una revisión de normativas internacionales. *Ciencia Digital*, 8(4), 75-91. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v8i4.3240>



CIENCIA DIGITAL, es una revista multidisciplinaria, trimestral, que se publicará en soporte electrónico tiene como misión contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://cienciadigital.org>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec



Esta revista está protegida bajo una licencia *Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 International*. Copia de la licencia: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Palabras claves:

Industria 4.0, IoT, Inteligencia Artificial, Sistemas Ciberfísicos, Normativas Internacionales, Sistemas Mecatrónicos.

Keywords:

Industry 4.0, IoT, Artificial Intelligence,

Resumen

Introducción: La industria 4.0 ha revolucionado los sistemas industriales con tecnologías como IoT, IA y CPS, lo que ha impulsado el rediseño de los sistemas mecatrónicos. Sin embargo, la implementación de estas tecnologías requiere la aplicación adecuada de normativas internacionales para garantizar su seguridad y eficiencia. **Objetivos:** Este artículo revisa las normativas internacionales que guían la implementación de las tecnologías de la Industria 4.0 en los sistemas mecatrónicos, evaluando su impacto y detectando vacíos normativos que necesitan ser abordados. **Metodología:** Se realizó una revisión documental de normativas y publicaciones entre 2015 y 2024, enfocada en los estándares más relevantes para IoT, IA y CPS, analizando su aplicabilidad mediante un análisis comparativo. **Desarrollo:** Se revisaron normativas clave como ISO/IEC 30141 (IoT), ISO/IEC JTC 1/SC 42 (IA), e IEC 61508 (CPS), que proporcionan marcos para la interoperabilidad, seguridad y eficiencia en los sistemas mecatrónicos. **Discusión:** Se identificaron vacíos normativos, especialmente en ciberseguridad para IoT y CPS, y se subrayó la necesidad de mayor claridad en las normativas emergentes sobre IA. **Resultados:** Las normativas actuales son sólidas, pero necesitan mejoras en ciberseguridad e interoperabilidad para optimizar la implementación de tecnologías de la Industria 4.0 en la mecatrónica. **Conclusiones:** Las normativas internacionales son clave para la adopción de la Industria 4.0 en la mecatrónica, aunque se deben abordar áreas de mejora para una integración completa de estas tecnologías. Este análisis permite identificar áreas de mejora crítica en las normativas actuales, aportando recomendaciones para la implementación segura y eficiente de tecnologías de la Industria 4.0 en la ingeniería mecatrónica. **Área general:** Tecnologías emergentes aplicadas a la Industria 4.0. **Área específica:** Normativas internacionales para IoT, IA y CPS en sistemas mecatrónicos. **Tipo de estudio:** Investigación documental y bibliográfica.

Abstract

Introduction: Industry 4.0 has revolutionized industrial systems with technologies such as IoT, AI, and CPS, driving the redesign of mechatronic systems. However, the implementation of these

Cyber-Physical Systems, International Standards, Mechatronic Systems.

technologies requires the appropriate application of international standards to ensure safety and efficiency. **Objectives:** This article reviews the international standards guiding the implementation of Industry 4.0 technologies in mechatronic systems, evaluating their impact and identifying regulatory gaps that need to be addressed. **Methodology:** A documentary review of standards and publications from 2015 to 2024 was conducted, focusing on the most relevant standards for IoT, AI, and CPS, and analyzing their applicability through comparative analysis. **Development:** Key standards such as ISO/IEC 30141 (IoT), ISO/IEC JTC 1/SC 42 (AI), and IEC 61508 (CPS) were reviewed, providing frameworks for interoperability, security, and efficiency in mechatronic systems. **Discussion:** Regulatory gaps were identified, especially in cybersecurity for IoT and CPS, and the need for greater clarity in emerging standards on AI was highlighted. **Results:** Current standards are robust but require improvements in cybersecurity and interoperability to optimize the implementation of Industry 4.0 technologies in mechatronics. **Conclusions:** International standards are key to the adoption of Industry 4.0 in mechatronics; however, areas for improvement should be addressed to enable full integration of these technologies. This analysis allows the identification of critical improvement areas in current standards, providing recommendations for the safe and efficient implementation of Industry 4.0 technologies in mechatronic engineering. **General Area:** Emerging technologies applied to Industry 4.0. **Specific Area:** International standards for IoT, AI, and CPS in mechatronic systems. **Type of Study:** Documentary and bibliographic research.

1. Introducción

La Industria 4.0 ha generado una transformación sin precedentes en los procesos industriales y de manufactura, integrando tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT), la Inteligencia Artificial (IA) y los Sistemas Ciberfísicos (CPS) (Peña & Palacio, 2018). Estas tecnologías permiten la creación de fábricas inteligentes donde las máquinas, los sistemas y las personas están interconectados a través de redes digitales,

facilitando la automatización avanzada y la optimización de procesos en tiempo real. A medida que la industria adopta estas innovaciones, los sistemas mecatrónicos, que combinan mecánica, electrónica y control, juegan un papel esencial como núcleo de esta transformación, al permitir el desarrollo de soluciones robóticas, sistemas autónomos y líneas de producción automatizadas.

El criterio de selección de normativas se basó en su aplicabilidad directa al contexto de la Industria 4.0 y la ingeniería mecatrónica, priorizando aquellas que fueran reconocidas y utilizadas a nivel internacional. Se incluyó normativa publicada entre 2015 y 2024 para garantizar la relevancia y actualidad de la información, dado que este periodo cubre el auge y adopción progresiva de tecnologías IoT, IA y CPS en el sector industrial.

1.1. Antecedentes

El concepto de la Industria 4.0 se originó en Alemania a principios de la década de 2010 como parte de un plan estratégico para incrementar la competitividad de las industrias manufactureras europeas mediante la integración de sistemas inteligentes y la digitalización de los procesos productivos (Navarro & Sabalza, 2016). El término "Industria 4.0" fue acuñado para representar la cuarta revolución industrial, que sigue a las tres anteriores: la mecanización impulsada por la máquina de vapor, la electrificación y la automatización inicial a través de la computación.

El primer antecedente significativo de la Industria 4.0 fue la incorporación de robots y sistemas de Control Numérico Computarizado (CNC) en la manufactura durante la tercera revolución industrial (Orduña et al., 2020). Sin embargo, estos sistemas eran limitados en cuanto a su capacidad de comunicarse y tomar decisiones autónomas. Con la llegada del IoT, las máquinas ahora pueden conectarse entre sí, generar grandes cantidades de datos a través de sensores, y optimizar el rendimiento mediante algoritmos de inteligencia artificial, todo en tiempo real.

A partir de 2015, las tecnologías asociadas con la Industria 4.0 comenzaron a expandirse globalmente, y los países desarrollados empezaron a crear marcos regulatorios y normativos para guiar la implementación de estas tecnologías en los sistemas industriales. La adopción masiva del IoT permitió que las máquinas, los productos y las personas estuvieran interconectados en tiempo real a través de redes inteligentes, creando entornos de manufactura más flexibles, eficientes y personalizables. Paralelamente, la inteligencia artificial y los sistemas ciberfísicos comenzaron a integrarse en aplicaciones industriales, automatizando no solo procesos repetitivos, sino también optimizando la toma de decisiones, el mantenimiento predictivo y la gestión energética.

Los sistemas mecatrónicos han sido parte integral de este proceso evolutivo. Desde su concepción, los sistemas mecatrónicos han permitido la integración de tecnologías

mecánicas, electrónicas y de control, facilitando el desarrollo de robots industriales, máquinas automatizadas y sistemas de control avanzados. Sin embargo, con la llegada de la Industria 4.0, los sistemas mecatrónicos han adquirido un nuevo nivel de inteligencia y autonomía al incorporar tecnologías de vanguardia como el IoT y la IA, lo que ha permitido que estos sistemas se adapten, aprendan y optimicen su desempeño en tiempo real sin intervención humana.

1.2. Impacto de la Industria 4.0 en los sistemas mecatrónicos

El impacto de la Industria 4.0 en los sistemas mecatrónicos es profundo. En primer lugar, el IoT ha facilitado la creación de redes de sensores inteligentes que permiten la monitorización y control remoto de los sistemas mecatrónicos (León, 2024). Esto no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también permite el mantenimiento predictivo, al detectar anomalías en las máquinas antes de que se produzcan fallos. Además, como menciona (Jiménez et al., 2023), la inteligencia artificial aplicada a los sistemas mecatrónicos ha permitido la optimización automática de procesos mediante el aprendizaje basado en datos, lo que incrementa la productividad y reduce los errores en los sistemas de manufactura.

Por otra parte, los sistemas ciberfísicos han transformado la manera en que los sistemas mecatrónicos interactúan con el entorno físico. Al integrar componentes físicos y computacionales, los CPS permiten que los sistemas mecatrónicos realicen tareas complejas con una precisión mucho mayor, interactuando con su entorno de manera más dinámica y adaptable. Esta capacidad es especialmente útil en entornos industriales donde los sistemas robóticos y de automatización deben trabajar en conjunto con los seres humanos y otros sistemas, garantizando un alto nivel de seguridad y eficiencia.

1.3. Necesidad de normativas internacionales

A medida que la Industria 4.0 y las tecnologías asociadas continúan expandiéndose, surge la necesidad de contar con marcos normativos internacionales que regulen su implementación (Periódico Online de Recursos Humanos [RRHHDigital], 2018). Las normativas son esenciales para garantizar la seguridad, la interoperabilidad y la eficiencia de los sistemas mecatrónicos que integran tecnologías de la Industria 4.0.

El desarrollo de normativas específicas permite abordar varios retos relacionados con la conectividad masiva de dispositivos y sistemas, la ciberseguridad, la inteligencia artificial y la integración de los sistemas ciberfísicos (Álvarez-Teleña & Díez-Fernández, 2024). En este sentido como mencionan Herrera & Alarcón (2019), normativas como la ISO/IEC 30141 proporcionan un marco de referencia para la arquitectura de IoT, mientras que la ISO/IEC JTC 1/SC 42 se centra en establecer normas éticas y técnicas para el uso de IA.

Además, la IEC 61508 y la ISO 26262 son esenciales para regular la seguridad funcional de los sistemas ciberfísicos en aplicaciones industriales críticas (Zapico, 2022).

Sin estas normativas, la adopción de las tecnologías de la Industria 4.0 en los sistemas mecatrónicos podría ser inconsistente y arriesgada, ya que las empresas y fabricantes operarían sin pautas claras sobre cómo implementar y gestionar estas tecnologías de manera segura y eficiente. Por tanto, es fundamental que los ingenieros y diseñadores de sistemas mecatrónicos comprendan y adopten estas normativas para garantizar que sus soluciones sean robustas, seguras y conformes a los estándares internacionales.

1.4. Objetivo del artículo

Este artículo tiene como objetivo principal revisar las normativas internacionales que regulan la implementación de las tecnologías de la Industria 4.0 en los sistemas mecatrónicos. Se analizará el impacto de estas normativas en el diseño, operación y mantenimiento de los sistemas mecatrónicos, identificando áreas que requieren actualización o desarrollo de nuevos marcos regulatorios. Al proporcionar una visión integral de las normativas existentes, este artículo busca facilitar la comprensión de los retos y oportunidades que enfrentan los ingenieros mecatrónicos en la era de la Industria 4.0.

2. Metodología

Este estudio se realizó mediante un enfoque de investigación documental y bibliográfica, orientado a la identificación, selección y análisis de normativas internacionales relevantes para la Industria 4.0 en el ámbito de la mecatrónica. Con un diseño documental de enfoque descriptivo, la investigación fue cualitativa, basada en la interpretación y comparación de estándares normativos sin manipulación de variables, y de nivel exploratorio al abordar las normativas vigentes y su importancia para los sistemas mecatrónicos. La modalidad fue bibliográfica, utilizando fuentes secundarias como artículos científicos, informes técnicos y documentos normativos publicados entre 2015 y 2024. Los métodos incluyeron el análisis comparativo y la revisión crítica, con procedimientos de comparación y técnicas de análisis de contenido para identificar vacíos y áreas de mejora en el marco regulatorio de la Industria 4.0.

La población de estudio para esta investigación incluye normativas internacionales y publicaciones científicas relevantes para la Industria 4.0 en el ámbito de la ingeniería mecatrónica, especialmente aquellas relacionadas con tecnologías de IoT, IA y CPS. Los criterios de inclusión abarcan documentos publicados entre 2015 y 2024 que tengan aplicabilidad directa en la implementación y regulación de estas tecnologías en sistemas mecatrónicos, emitidos por organismos internacionales reconocidos como ISO, IEC e IEEE. Los criterios de exclusión consideran normativas y publicaciones sin un enfoque

específico en la Industria 4.0 o la mecatrónica, así como documentos no actualizados o de alcance exclusivamente local sin relevancia internacional. Se aplicaron criterios de eliminación que descartan duplicados, normativas no disponibles en acceso abierto o documentos con ambigüedades significativas en su redacción o aplicabilidad. En cuanto a los aspectos éticos, esta revisión documental no involucra seres humanos ni datos sensibles, por lo que no requiere autorización de instituciones o comités de ética. No obstante, se respetaron los derechos de autor y se citó debidamente cada fuente de acuerdo con las normas de propiedad intelectual, siguiendo así prácticas éticas en la selección y uso de la información. Los pasos seguidos fueron los siguientes:

2.1. Revisión bibliográfica

Se realizó una búsqueda exhaustiva en bases de datos científicas y técnicas, incluyendo *IEEE Xplore*, *Scopus*, *Google Scholar*, y *ScienceDirect*, para identificar normativas internacionales y publicaciones académicas relevantes sobre la Industria 4.0 y los sistemas mecatrónicos. Los términos clave utilizados fueron "Industria 4.0", "Internet de las Cosas", "Sistemas Ciberfísicos", "Inteligencia Artificial", "Normativas Internacionales" y "Sistemas Mecatrónicos". Se priorizaron fuentes publicadas entre 2015 y 2024 para asegurar la pertinencia y actualización de la información.

2.2. Selección de normativas

A partir de la revisión bibliográfica, se seleccionaron las normativas internacionales más relevantes en el contexto de la Industria 4.0 y la mecatrónica. Las normativas clave incluyeron:

- ISO/IEC 30141: Arquitectura de referencia para IoT.
- ISO/IEC JTC 1/SC 42: Normativas sobre IA.
- IEC 61508: Seguridad funcional en sistemas eléctricos y electrónicos aplicados a CPS.
- ISO 26262: Seguridad funcional en sistemas electrónicos automotrices.

Se seleccionaron estas normativas por su aplicabilidad directa en el diseño y operación de sistemas mecatrónicos que incorporan tecnologías de la Industria 4.0.

2.3. Análisis comparativo

Se realizó un análisis comparativo de las normativas seleccionadas, enfocándose en los aspectos que regulan la interoperabilidad, ciberseguridad, eficiencia energética y seguridad funcional. El objetivo fue identificar similitudes, diferencias y áreas que requieren una mayor regulación o actualización.

2.4. Revisión Crítica

A partir del análisis comparativo, se llevó a cabo una revisión crítica de los vacíos normativos y desafíos regulatorios. Se identificaron áreas que requieren nuevas normativas o la actualización de las existentes, especialmente en temas de ciberseguridad y la ética en el uso de IA.

2.5. Desarrollo

El desarrollo de este artículo se enfoca en el análisis de las principales normativas internacionales que guían la adopción de tecnologías de la Industria 4.0 en sistemas mecatrónicos. La tabla 1 presenta una comparación de las principales normativas internacionales que regulan aspectos críticos de la Industria 4.0, enfocándose en su aplicabilidad a sistemas mecatrónicos. Cada normativa está descrita en términos de su enfoque principal, año de publicación, aspectos clave cubiertos y relevancia específica para la mecatrónica. Esta comparación permite una visión integral de las guías y estándares que apoyan la implementación segura, ética y eficiente de tecnologías como IoT, IA y CPS en la mecatrónica, subrayando los beneficios y desafíos de cada normativa en contextos industriales complejos.

Tabla 1

Comparativa de normativas internacionales para la implementación de la industria 4.0 en sistemas mecatrónicos

Normativa	Enfoque principal	Año de publicación	Principales aspectos cubiertos	Relevancia para la mecatrónica
1 ISO/IEC 30141	IoT	2018	Arquitectura de referencia para la implementación segura y escalable de sistemas IoT.	Permite la integración de sensores y dispositivos en sistemas mecatrónicos con alta interoperabilidad.
2 ISO/IEC JTC 1/SC 42	Inteligencia Artificial (IA)	2017	Normas éticas y técnicas para el uso responsable de IA, transparencia y minimización de sesgo.	Fomenta la transparencia y ética en IA aplicada en sistemas autónomos y robóticos en mecatrónica.
3 IEC 61508	Sistemas Ciberfísicos (CPS)	2010	Seguridad funcional en sistemas eléctricos/electrónicos aplicados a sistemas ciberfísicos.	Garantiza la seguridad de sistemas en tiempo real, asegurando alta confiabilidad en entornos críticos.
4 ISO 26262	Sistemas Electrónicos Automotrices	2011	Seguridad funcional específica para sistemas de control en aplicaciones automotrices.	Establece requisitos de seguridad para aplicaciones automotrices, fundamentales para robótica móvil y CPS.
5 IEEE P7000	Ética en IA	2022	Incorporación de principios éticos en el diseño de sistemas autónomos con IA.	Facilita el diseño de sistemas autónomos que toman decisiones alineadas con principios éticos.

Tabla 1

Comparativa de normativas internacionales para la implementación de la industria 4.0 en sistemas mecatrónicos (continuación)

Normativa	Enfoque principal	Año de publicación	Principales aspectos cubiertos	Relevancia para la mecatrónica
6 IEC 62443	Ciberseguridad	2024	Protección de sistemas de control industrial contra amenazas cibernéticas.	Proporciona seguridad integral en sistemas conectados, clave para evitar fallos críticos en mecatrónica.
7 ISO 50001	Eficiencia Energética	2011	Directrices para la gestión y optimización de la eficiencia energética en sistemas industriales.	Optimiza el consumo energético en sistemas integrados, promoviendo la sostenibilidad en operaciones.

A continuación, se presenta un análisis detallado de las normativas más relevantes:

2.5.1. Normativas para IoT:

La ISO/IEC 30141:2018 proporciona una arquitectura de referencia para el IoT, permitiendo el diseño de sistemas conectados que sean seguros, escalables y eficientes. Esta normativa es esencial para la implementación de dispositivos conectados en sistemas mecatrónicos, ya que permite la integración de sensores y actuadores para el monitoreo y control en tiempo real.

La importancia del IoT en los sistemas mecatrónicos radica en su capacidad para conectar máquinas y dispositivos, permitiendo la recolección de datos y la optimización de procesos de manera autónoma. La seguridad y la interoperabilidad son aspectos clave regulados por la ISO/IEC 30141, lo que asegura que los sistemas puedan integrarse sin problemas en entornos industriales complejos.

Para los sistemas mecatrónicos, la ISO/IEC 30141 es esencial ya que permite conectar dispositivos y sistemas de forma segura, facilitando la interoperabilidad y el monitoreo en tiempo real. La capacidad de recolección y análisis de datos a través de sensores en sistemas mecatrónicos es crítica para la optimización y mantenimiento predictivo, aspectos fundamentales en la Industria 4.0.

2.5.2. Normativas para IA:

La ISO/IEC JTC 1/SC 42 es una normativa emergente que regula el uso de la inteligencia artificial en sistemas industriales (Marzal & Vivarelli, 2024). Esta normativa se centra en la transparencia y la ética en el uso de algoritmos de IA, asegurando que las decisiones autónomas tomadas por estos sistemas sean confiables y verificables.

La IA en sistemas mecatrónicos permite optimizar procesos mediante el aprendizaje automático, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo costos. Sin embargo, el uso de IA también plantea desafíos éticos, como el sesgo en la toma de decisiones y la falta de transparencia en los algoritmos (Automation Technologies [TCA], 2024). La ISO/IEC JTC 1/SC 42 aborda estos problemas y establece un marco para garantizar que los sistemas de IA sean seguros y confiables.

La norma IEEE P7000, desarrollada por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), establece un marco para la incorporación de aspectos éticos en el diseño de sistemas de Inteligencia Artificial (IA). Su propósito es ayudar a los ingenieros y diseñadores a integrar criterios éticos y sociales en el desarrollo de IA, abordando posibles conflictos que puedan surgir entre los intereses técnicos y los valores humanos. En el contexto de los sistemas mecatrónicos, la IEEE P7000 contribuye a asegurar que los sistemas autónomos tomen decisiones alineadas con principios éticos, minimizando los riesgos de sesgo y promoviendo la transparencia y la equidad en los algoritmos de IA. Esta normativa complementa a la ISO/IEC JTC 1/SC 42, que también regula el uso de IA en entornos industriales, brindando un enfoque ético detallado que resulta esencial para su implementación en sistemas mecatrónicos que requieren decisiones autónomas seguras y responsables (Spiekermann, 2022).

En el ámbito de la mecatrónica, la normativa ISO/IEC JTC 1/SC 42, complementada por la IEEE P7000, establece una base esencial para la gobernanza ética y segura en el uso de IA. Al asegurar transparencia y minimizar el sesgo en los sistemas autónomos, esta normativa facilita la confiabilidad y aceptación de sistemas automatizados, especialmente en operaciones industriales críticas donde los riesgos de error deben ser mínimos.

2.5.3. Normativas para Sistemas Ciberfísicos (CPS)

Los sistemas ciberfísicos integran componentes físicos y digitales, lo que permite un control preciso de los procesos industriales. La IEC 61508 y la ISO 26262 son normativas esenciales para la seguridad funcional de los CPS en aplicaciones industriales y automotrices (Zapico, 2022).

Estas normativas aseguran que los sistemas ciberfísicos operen de manera segura, minimizando el riesgo de fallos que podrían tener consecuencias catastróficas en los entornos industriales. En particular, la IEC 61508 se aplica a los sistemas de control en tiempo real que requieren una alta fiabilidad y seguridad operativa.

La normativa IEC 62443 es un estándar internacional diseñado para abordar la ciberseguridad en Sistemas de Automatización y Control Industrial (IACS). Esta normativa establece un conjunto de requisitos de seguridad que protegen tanto los componentes individuales como los sistemas integrados en infraestructuras industriales

contra amenazas cibernéticas. En el contexto de la Industria 4.0, la IEC 62443 es crucial para los sistemas mecatrónicos que dependen de dispositivos interconectados y acceso remoto, ya que ofrece pautas para el diseño seguro, la configuración de redes, la gestión de accesos y la respuesta ante incidentes. Esto asegura que los Sistemas Ciberfísicos (CPS) y otros dispositivos IoT integrados en procesos industriales puedan operar de forma resiliente frente a ciberataques, complementando la ISO/IEC 27001 en la protección de datos sensibles y la continuidad de las operaciones en entornos industriales complejos (Ingertec.com, 2024).

La aplicación de la IEC 61508 y la ISO 26262 en CPS asegura un alto nivel de seguridad funcional en sistemas que operan en tiempo real y que requieren precisión y confiabilidad, características fundamentales en sistemas mecatrónicos. Estas normativas son esenciales para que los ingenieros puedan diseñar sistemas resilientes en entornos de riesgo, garantizando la estabilidad de los procesos.

2.5.4. Normativa para gestión de eficiencia energética en Sistemas Industriales (ISO 50001)

La gestión de la eficiencia energética en sistemas industriales es un componente clave en la sostenibilidad y optimización de recursos en la Industria 4.0. La norma ISO 50001 proporciona un marco estructurado para que las organizaciones implementen sistemas de gestión energética eficaces, con el objetivo de reducir el consumo de energía, minimizar costos y disminuir el impacto ambiental. A través de esta normativa, las empresas pueden identificar oportunidades de ahorro energético en sus procesos, monitorear el uso de energía y establecer métricas para una mejora continua (De La Rosa, 2022).

En el contexto de los sistemas mecatrónicos e industriales avanzados, la ISO 50001 permite integrar la eficiencia energética en los ciclos de producción y en el funcionamiento de máquinas conectadas, sensores y sistemas ciberfísicos. Esta normativa también fomenta la creación de una cultura organizacional centrada en la sostenibilidad, apoyando la transición hacia operaciones industriales más responsables y alineadas con los objetivos globales de reducción de emisiones y ahorro de recursos energéticos.

Para los sistemas mecatrónicos en la Industria 4.0, la ISO 50001 permite gestionar el consumo energético de manera eficiente, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y optimización de recursos. La capacidad de integrar IoT y CPS en ciclos de producción automatizados es clave para reducir el consumo de energía y minimizar los costos operativos en el contexto industrial.

3. Resultados

Del análisis de las normativas se desprenden los siguientes resultados clave:

- *Interoperabilidad y escalabilidad:* la ISO/IEC 30141 proporciona un marco sólido para la interoperabilidad de dispositivos IoT en sistemas mecatrónicos. Sin embargo, la escalabilidad de estos sistemas depende de la capacidad de las empresas para adaptar sus infraestructuras a nuevas normativas tecnológicas.
- *Ciberseguridad:* aunque la ISO/IEC 27001 regula la seguridad de la información, los sistemas ciberfísicos aún enfrentan importantes desafíos en términos de ciberseguridad. Es necesario desarrollar normativas específicas que aborden los riesgos asociados con la conectividad masiva de dispositivos en la Industria 4.0.
- *Eficiencia Energética:* la ISO 50001 establece directrices para la gestión de la eficiencia energética en sistemas industriales. Los sistemas mecatrónicos que integran IoT y CPS pueden beneficiarse significativamente de esta normativa, reduciendo el consumo energético mediante la optimización de procesos.

4. Discusión

A pesar de los avances normativos, se identifican varias áreas que requieren una atención adicional para garantizar la implementación exitosa de las tecnologías de la Industria 4.0 en sistemas mecatrónicos.

4.1. Ciberseguridad

La conectividad inherente de los sistemas IoT y CPS en la Industria 4.0 aumenta la vulnerabilidad a ciberataques. Aunque existen normativas como la ISO/IEC 27001, es necesario desarrollar estándares más específicos para abordar los riesgos asociados a la ciberseguridad en dispositivos conectados en entornos industriales (Hidalgo, 2023).

Los vacíos normativos en áreas críticas, como la ciberseguridad y la interoperabilidad, generan incertidumbre en la implementación de sistemas mecatrónicos en entornos de la Industria 4.0. La falta de normativas específicas expone a los sistemas a riesgos de seguridad y limita la eficiencia operativa, dificultando la integración de dispositivos de distintos fabricantes y aumentando la vulnerabilidad a ciberataques. Sin regulaciones actualizadas, las empresas enfrentan el desafío de implementar soluciones personalizadas, lo que incrementa los costos y reduce la escalabilidad de los sistemas.

4.2. Interoperabilidad

La complejidad de los sistemas mecatrónicos modernos exige una interoperabilidad perfecta entre dispositivos de diferentes fabricantes. Si bien la OPC UA (IEC 62541) proporciona una base para la comunicación entre dispositivos, se necesitan actualizaciones normativas para abordar la creciente diversidad de dispositivos y plataformas en la Industria 4.0.

4.3. *Ética en la Inteligencia Artificial*

El uso de la IA en sistemas industriales plantea preocupaciones éticas, particularmente en la toma de decisiones autónomas. La ISO/IEC JTC 1/SC 42 aborda algunos de estos desafíos, pero es necesario un mayor desarrollo normativo para asegurar la equidad y transparencia en los sistemas que utilizan IA.

5. Conclusiones

- La ISO/IEC 30141 y la OPC UA (IEC 62541) para interoperabilidad entre dispositivos y sistemas de distintos fabricantes, ofrecen pautas para la comunicación y el intercambio de datos, pero la diversificación acelerada de plataformas y dispositivos en la Industria 4.0 demanda un marco de estandarización más robusto para asegurar una integración sin fisuras. Los ingenieros de mecatrónica deben diseñar arquitecturas flexibles y escalables que puedan adaptarse a diferentes entornos industriales y evolucionar en consonancia con las normativas en desarrollo.
- La IEC 62443 y la ISO/IEC 27001 para ciberseguridad en sistemas mecatrónicos interconectados, proporcionan las bases para la protección de datos y la seguridad en redes industriales. No obstante, el incremento en el uso de dispositivos IoT y CPS requiere normativas específicas que aborden la seguridad de manera integral, considerando hardware, software y redes de comunicación. La implementación de una ciberseguridad completa es crucial para evitar fallos en sistemas críticos y asegurar la continuidad operativa en ambientes de alto riesgo, lo cual presenta nuevos retos para la ingeniería de control y la supervisión de sistemas autónomos.
- La ISO 50001, para eficiencia energética en sistemas industriales, establece las bases para la gestión de recursos energéticos en sistemas industriales, y la inclusión de IoT y CPS en los sistemas mecatrónicos mejora la eficiencia operativa y optimiza el uso de energía en tiempo real. Se requiere una mayor regulación en eficiencia energética específica para dispositivos y sistemas mecatrónicos, que considere la variabilidad de los entornos industriales y promueva la sostenibilidad en la operación a largo plazo.
- La IEEE P7000 y la ISO/IEC JTC 1/SC 42, para aspectos éticos en el uso de inteligencia artificial en sistemas mecatrónicos, ofrecen marcos para la gobernanza ética de la IA; sin embargo, se necesita una estandarización más profunda que aborde problemas como el sesgo algorítmico, la transparencia en la toma de decisiones y la responsabilidad en los sistemas autónomos. Para los ingenieros de mecatrónica, estas normativas representan una oportunidad para mejorar la confiabilidad y aceptación de sistemas automatizados en contextos industriales de alta criticidad.

- Las normativas deben desarrollarse de la mano con los avances tecnológicos para que los sistemas mecatrónicos de la Industria 4.0 operen de forma segura, eficiente y en alineación con valores éticos y de sostenibilidad. Se recomienda que los organismos de normalización colaboren con la industria y la academia para crear normativas adaptativas que reflejen el estado actual y futuro de la tecnología, permitiendo a los ingenieros diseñar sistemas mecatrónicos avanzados que respondan a los desafíos venideros en entornos industriales automatizados y autónomos.
- Para lograr una implementación efectiva de la Industria 4.0 en la mecatrónica, es esencial la colaboración entre organismos de normalización, el sector industrial y la academia. Esta colaboración permitirá desarrollar normativas adaptativas que respondan a los avances tecnológicos y faciliten la adopción de nuevas tecnologías en entornos seguros, eficientes y alineados con principios éticos y de sostenibilidad. De esta forma, los sistemas mecatrónicos avanzados podrán satisfacer las demandas y desafíos futuros en un entorno industrial cada vez más autónomo y automatizado.

6. Conflicto de intereses

Los autores Daniel Ernesto Carrera Agama, Santiago Efraín Tibanquiza Chunchu, Pablo Hernán Taboada Flores & Lando Stephen Ocaña Pañora, declaran que no existe conflicto de intereses en relación con el artículo presentado. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.

7. Declaración de contribución de los autores

Todos autores contribuyeron significativamente en la elaboración del artículo.

8. Costos de financiamiento

La presente investigación fue financiada en su totalidad con fondos propios de los autores.

9. Referencias Bibliográficas

Álvarez-Teleña, S., & Díez-Fernández, M. (2024). Ciberseguridad moderna: nueva era, nuevas estrategias. *SSRN*, 1-22.

https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4991580

Automation Technologies [TCA]. (2024, julio 2). Mecatrónica: Qué es y aplicaciones.

<https://www.tca-automation.com/mecatronica-que-es-y-aplicaciones/>

De la Rosa Castro, J. L. (2022). *Megatendencias y su impacto en las organizaciones e industria 4.0* [Tesis de pregrado, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia]. <http://hdl.handle.net/10654/43759>

- Herrera Novoa, A. K., & Alarcón Suárez, D. M. (2019). *Revisión sistemática del estándar ISO/IEC 30141: 2018 como arquitectura de referencia para la seguridad en entornos IoT* [Tesis de especialista, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia].
<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/06d4a984-30ba-4a99-890e-d57f36b3f59c/content>
- Ingertec.com. (2024). *Norma IEC 62443*. <https://ingertec.com/norma-iec-62443/>
- Jiménez López, E., Reyes Ávila, L. A., Martínez Molina, V. M., Sepúlveda Romo, A., Beltrán Márquez, Y., & Luna Bracamontes, A. (2023). Los gemelos digitales, la tecnología innovadora de la Industria 4.0: aplicaciones y educación en mecatrónica. *Kaizen y Mecatrónica*, 29, 375 – 386.
<https://www.researchgate.net/publication/376271056>
- León, E. (2024, octubre 3). *La automatización industrial y el papel clave de la ingeniería mecatrónica*. Fundación Instituto de Ingeniería para Investigación y Desarrollo Tecnológico. <https://www.fii.gob.ve/la-automatizacion-industrial-y-el-papel-clave-de-la-ingenieria-mecatronica/>
- Marzal, M.- Ángel, & Vivarelli, M. (2024). The convergence of Artificial Intelligence and Digital Skills: a necessary space for Digital Education and Education 4.0. *JLIS.It*, 15(1), 1–15. <https://doi.org/10.36253/jlis.it-566>
- Navarro, M., & Sabalza, X. (2016). Reflexiones sobre la industria 4.0 desde el caso vasco. *Ekonomiaz: Revista vasca de economía*, 89, 142-173.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5487066>
- Orduña Correa, F., Rosas Rivera, M. C., Acosta Pintor, D. C., & Alvarado, M. (2020). Reto de la automatización y la robótica para los estudiantes de ingeniería industrial. *TECTZAPIC: Revista Académico-Científica*, 6(2), 117-127.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8504963>
- Peña Galvis, O. L., & Palacio Osorio, G. J. (2018). Impacto de las nuevas tecnologías de “industry 4.0” en Colombia. *LOGINN Investigación Científica y Tecnológica*, 2(2). <https://doi.org/10.23850/25907441.2007>
- Periódico Online de Recursos Humanos [RRHHDigital]. (2018, octubre 12). *Las normas internacionales y la cuarta revolución industrial*.
<https://www.rrhhdigital.com/secciones/mercado-laboral/133182/Las-normas-internacionales-y-la-cuarta-revolucion-industrial/>
- Hidalgo Martínez, W. D. (2023). *Evaluación de riesgos para un sistema de gestión de seguridad de la información en base a la Norma ISO/IEC 27001 aplicado a un*

proveedor de servicios de internet [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador]. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/e85df900-75e8-4516-97f0-d4e784af203b>

Spiekermann, Sarah. (2022, June 21). What to expect from IEEE 7000TM is the first standard for building ethical systems. *SSRN*. <https://ssrn.com/abstract=4142393>. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4142393>

Zapico Alonso, E. (2022, septiembre 21). *Ciberseguridad en los vehículos*. Revista CESVIMAP. <https://www.revistacesvimap.com/ciberseguridad-en-los-vehiculos/>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.



Indexaciones

