

## ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA IOT PARA EL  
CONTROL AUTÓNOMO DE BLOWERS EN PROCESOS DE  
SECADO INDUSTRIAL: OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA EN  
PLANTA AUTOMOTRIZ**

**IMPLEMENTATION OF AN IOT SYSTEM FOR THE  
AUTONOMOUS CONTROL OF BLOWERS IN INDUSTRIAL  
DRYING PROCESSES: ENERGY OPTIMIZATION IN AN  
AUTOMOTIVE PLANT**

**ARTICULO DE INVESTIGACIÓN**

**Toledo González, Noé<sup>1</sup>**

Universidad Tecnológica de Matamoros

noe.toledo@utmatamoros.edu.mx

ORCID: 0000-0003-0034-8376

**Herrera Ornelas, Jonathan Israel<sup>2</sup>**

Universidad Tecnológica de Matamoros

2110536@utmatamoros.edu.mx

ORCID: 0009-0004-5980-8538

Recibido el 29 de septiembre de 2025. Aceptado el 10 de noviembre de 2025.

Publicado el 31 de diciembre de 2025.

## **Reseña de Autor<sup>1</sup>**

Noé Toledo González es Doctor en Proyectos por la Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores en Morelia. Cuenta con una Maestría en Docencia otorgada por la Universidad Autónoma de Tamaulipas y es Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de Matamoros. Actualmente, se desempeña como Profesor Investigador en la Universidad Tecnológica de Matamoros.

A lo largo de su carrera, ha publicado artículos en revistas académicas sobre temas relacionados a la gestión y desarrollo de prototipos, consolidándose como un referente en la investigación tecnológica. Ha participado activamente como jurado en certámenes nacionales de ciencia y tecnología, evaluando proyectos de alto impacto en innovación. Asimismo, ha colaborado como perito auxiliar en ingeniería en sistemas computacionales para el Poder Judicial de la Federación, aportando su experiencia en análisis técnico y soluciones informáticas.

## **Reseña de Autor<sup>2</sup>**

Jonathan Israel Herrera Ornelas es estudiante de la carrera de Mecatrónica en la Universidad Tecnológica de Matamoros. Ha demostrado interés y compromiso en el desarrollo de proyectos tecnológicos e innovadores, participando activamente en eventos de divulgación científica. En 2023, presentó el proyecto Voltuim en el certamen Expociencias Tamaulipas, destacando por su capacidad creativa y su aplicación práctica en el campo de la mecatrónica. Su trayectoria académica refleja dedicación, trabajo en equipo y un enfoque orientado a la solución de problemas mediante el uso de tecnología.

## Resumen

El presente trabajo describe el diseño e implementación de un sistema de control autónomo basado en tecnología IoT para optimizar el funcionamiento de los sopladores de aire ( blowers ), en procesos de secado industrial dentro de una planta automotriz. El objetivo principal fue reducir el consumo energético y el desgaste mecánico, activando los equipos únicamente durante la presencia efectiva de canastillas en el área de secado. La metodología se desarrolló en cinco fases: diagnóstico del patrón de operación y consumo eléctrico, selección de componentes, diseño del sistema, programación de microcontroladores ESP32 con sensores de proximidad y módulos de relé, e instalación y validación en planta. Los resultados muestran una disminución del 40–50 % en el tiempo de operación diaria, lo que representa un ahorro energético significativo y una reducción de la huella de carbono asociada. Además, se observaron mejoras en el ambiente laboral, como menor ruido y acumulación de calor, y un aumento en la vida útil del equipo. Se concluye que la solución propuesta es técnica y económicamente viable, de fácil replicación y bajo costo, constituyendo un avance hacia la digitalización y eficiencia en procesos industriales similares.

**Palabras clave:** Automatización industrial, Internet de las Cosas, Eficiencia energética, Control inteligente, Industria automotriz

## Abstract

This study describes the design and implementation of an autonomous control system based on IoT technology to optimize the operation of air blowers in industrial drying processes within an automotive plant. The main objective was to reduce energy consumption and mechanical wear by activating the equipment only during the effective presence of baskets in the drying area. The methodology was developed in five phases: diagnosis of operating patterns and power consumption,

selection of components, system design, programming of ESP32 microcontrollers with proximity sensors and relay modules, and installation and validation on site. The results show a 40–50% reduction in daily operating time, representing significant energy savings and a decrease in the associated carbon footprint. Furthermore, improvements were observed in the work environment, such as reduced noise and heat accumulation, and an increase in equipment lifespan. It is concluded that the proposed solution is technically and economically viable, easily replicable, and low-cost, representing a step toward digitalization and efficiency in similar industrial processes.

**Keywords:** Industrial automation, Internet of Things (IoT), Energy efficiency, Intelligent control, Automotive industry

## Introducción

En el sector automotriz, la optimización del consumo energético constituye un factor determinante para la competitividad, la reducción de costos y la sostenibilidad de las operaciones. En particular, los sistemas de secado industrial que emplean blowers pueden generar un gasto considerable de energía cuando su funcionamiento no está sincronizado con la demanda real del proceso. (Chiluisa, 2022)

En una planta de giro automotriz ubicada en el norte de Tamaulipas, se detectó que varios blowers del área de secado operaban de forma continua durante todos los turnos de trabajo, incluso en ausencia de producto. Esta práctica no solo incrementaba el consumo eléctrico y los costos asociados, sino que también aceleraba el desgaste mecánico de los equipos y contribuía innecesariamente a la huella de carbono de la operación.

Ante este panorama, se planteó el desarrollo de un sistema automatizado de bajo costo, basado en tecnología IoT, que integrara sensores de presencia y controladores

programables para activar los blowers únicamente cuando fuera necesario. El presente trabajo describe el diseño, implementación y validación de dicho sistema, destacando su impacto en la eficiencia energética, la reducción de costos operativos y la mejora de las condiciones de trabajo en un entorno industrial real.

## Planteamiento del problema

En los procesos industriales de secado, los sopladores de aire (blowers) cumplen un papel fundamental para garantizar la calidad del producto y la continuidad de la línea de producción (Cruz, 2024). Sin embargo, cuando su operación no está sincronizada con la demanda real del proceso, pueden convertirse en un punto crítico de ineficiencia energética.

En una planta de giro automotriz ubicada en el norte de Tamaulipas, se detectó que varios blowers del área de secado operaban de forma continua durante todos los turnos, independientemente de la presencia de canastillas en el área de trabajo. Esta práctica generaba un consumo eléctrico innecesario, aceleraba el desgaste mecánico de los equipos y aumentaba los costos de mantenimiento y operación.

Las mediciones preliminares indicaron que un solo blower consumía aproximadamente 24.69 kWh diarios, lo que equivale a 6,048.76 kWh anuales. Considerando que en la línea operan seis blowers, el consumo total estimado superaba los 36,000 kWh anuales sin que toda esa energía se tradujera en valor productivo. Esta situación también conlleva un impacto ambiental, dado que el uso innecesario de electricidad incrementa la huella de carbono de la planta.

A pesar de que existen tecnologías para la automatización de procesos y el control adaptativo de equipos, en muchos casos no se han implementado soluciones por considerarse costosas, complejas o poco compatibles con la infraestructura existente. Por ello, resulta necesario desarrollar un sistema que permita optimizar el uso de los blowers mediante detección automática de presencia, control inteligente y monitoreo en tiempo real, con un costo accesible y fácil integración al entorno actual.

El problema central que aborda esta investigación es, por tanto, la ineficiencia operativa y energética derivada del funcionamiento continuo de los blowers sin sincronización con la carga real, y la necesidad de implementar una solución tecnológica viable que reduzca el consumo eléctrico, prolongue la vida útil de los equipos y mejore la sostenibilidad del proceso.

## **Revisión bibliográfica**

La gestión eficiente de la energía en la industria es un desafío global que combina aspectos técnicos, económicos y medioambientales. De acuerdo con la International Energy Agency (2023), las mejoras en eficiencia energética en el sector industrial pueden reducir el consumo global hasta en un 25 % para 2030, contribuyendo a mitigar el cambio climático y a mejorar la competitividad de las empresas. En entornos productivos intensivos, como el sector automotriz, el consumo energético se concentra en sistemas de climatización, compresión de aire, hornos de secado y equipos de movimiento de fluidos, entre los que destacan los blowers o sopladores industriales. (García, 2021)

En plantas automotrices, la automatización de procesos orientada a la eficiencia energética ha evolucionado gracias al avance de tecnologías del Internet of Things (IoT) y a la disponibilidad de microcontroladores de bajo costo como el ESP32. Estas plataformas permiten integrar sensores, módulos de control y conectividad inalámbrica, facilitando la implementación de sistemas inteligentes de monitoreo y actuación en tiempo real (Suarez, 2024). El uso de sensores de proximidad, combinados con controladores programables, ha demostrado ser una estrategia efectiva para reducir el funcionamiento en vacío de maquinaria, optimizando los ciclos operativos y prolongando la vida útil de los equipos. (Mateo, 2025)

Kushwaha (2025), se enfatiza que los sopladores, además de cumplir funciones esenciales en procesos industriales y sistemas HVAC, representan un punto crítico en

la gestión energética, ya que su funcionamiento continuo sin control adaptativo puede derivar en altos consumos eléctricos y costos operativos innecesarios. El texto resalta la importancia de implementar estrategias de control eficiente y mantenimiento preventivo para maximizar su vida útil y rendimiento. Este planteamiento coincide con el enfoque de la presente investigación, que propone un sistema IoT capaz de activar los blowers únicamente bajo condiciones de demanda real es decir, cuando las canastillas están presentes en el área de secado, reduciendo así el uso en vacío, optimizando el consumo energético y alineándose con las mejores prácticas de eficiencia y sostenibilidad descritas en la literatura técnica.

Estudios previos han documentado que la incorporación de control adaptativo en sistemas de secado puede generar ahorros energéticos del 30 % al 60 %, dependiendo del diseño del proceso y del tipo de producto tratado (Pena, 2023). Este enfoque, además de reducir costos, contribuye a disminuir la huella de carbono, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 7 (energía asequible y no contaminante) y el ODS 9 (industria, innovación e infraestructura).

En línea con la tendencia hacia la automatización eficiente en procesos de secado industrial, un estudio de Hendra (2021), implementó un sistema basado en PLC (Programmable Logic Controller) para automatizar el secado de caucho. El control abarcó la gestión de motores, sopladores y resistencias en función de la temperatura y la disposición del material dentro de la cámara de secado. El sistema demostró operar con éxito bajo 220 V, activando componentes como el sensor (0.21 A), motor (8.27 A), calefactor (1.99 A) y blower (0.75 A), con tiempos de respuesta de 0.01 a 0.3 s. Este hallazgo resalta cómo la automatización mediante PLC o tecnologías IoT no solo mejora la precisión y control en el secado, sino que también asegura la estabilidad operativa en entornos reales, ofreciendo un paralelismo técnico valioso con la solución IoT propuesta que activa los blowers únicamente en presencia de carga, contribuyendo así a la optimización energética y reducción del desgaste mecánico.

En un contexto diferente pero técnicamente relevante, un estudio publicado en Renewable Energy por Zhang (2020), investigó el diseño e implementación de un control predictivo de temperatura mediante un modelo avanzado, destinado a gestionar sistemas térmicos complejos con alto grado de inercia y variaciones ambientales. El método, que se basa en el Model Predictive Control (MPC), permite anticipar la evolución del sistema y modular el uso de actuadores de manera optimizada, logrando una estabilidad térmica más eficiente y un menor consumo de energía secundaria.

Aunque el dominio de aplicación difiere del secado industrial, la lógica de anticipación y control en tiempo real refleja un objetivo común: optimizar el uso de recursos energéticos sin comprometer la calidad del proceso. Este enfoque refrenda la viabilidad técnica del uso de lógica predictiva para la activación inteligente del blower solo cuando es necesario, como propone la solución IoT desarrollada en este trabajo.

La implementación de soluciones IoT para el control de blowers no solo ofrece beneficios energéticos, sino que también permite habilitar capacidades de mantenimiento predictivo mediante el análisis de datos históricos de operación. Esto se traduce en una reducción de fallos inesperados y paros no programados, incrementando la disponibilidad operativa de la línea de producción.

## Método y Metodología

La investigación se enmarca en un enfoque aplicado con un diseño cuasi-experimental, orientado a evaluar el impacto de un sistema automatizado basado en IoT para el control de blowers en un proceso de secado industrial. El método contempla tanto la medición cuantitativa del consumo energético como la observación cualitativa del comportamiento del equipo y del entorno de trabajo.

## Fases del desarrollo

### Diagnóstico inicial

Se realizó un levantamiento de información sobre el patrón de operación de los blowers, registrando tiempos de encendido, consumo energético y lapsos sin carga productiva. Se utilizaron instrumentos de medición eléctrica y observación directa en diferentes turnos de producción para establecer una línea base de referencia.

### Diseño conceptual del sistema

Se definió la arquitectura del sistema utilizando microcontroladores ESP32 por su capacidad de procesamiento y conectividad Wi-Fi. Se evaluaron y seleccionaron sensores de proximidad tipo NPN, módulos de relé SPDT y un buzzer para señalización de inactividad prolongada como se muestra en la figura 1.

### Figura 1

*Material: Micro controlar ESP32, sensor de proximidad, relevador y cableado, ensamblando sobre la PCB*



## Integración y programación

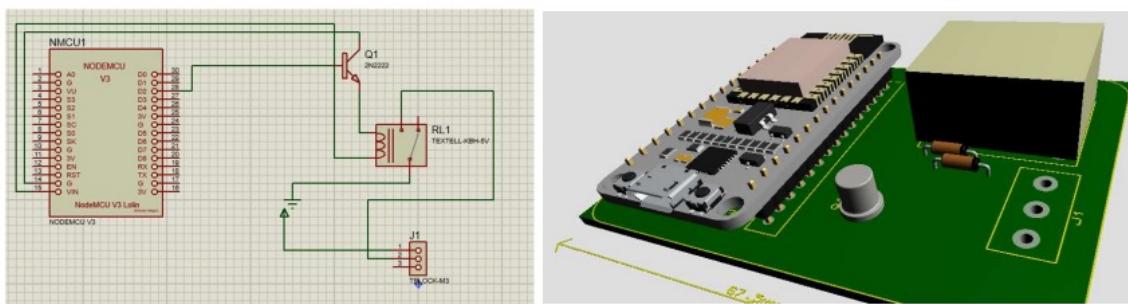
Se desarrolló el firmware en Arduino IDE, programando la lógica de control basada en la detección de presencia, la temporización y la activación del blower únicamente cuando fuera necesario. La programación incluyó un retardo de apagado para garantizar el secado completo, así como una alerta acústica en caso de estancamiento del flujo.

En paralelo, se diseñó el sistema electrónico a partir de un esquema de conexión que integra el microcontrolador ESP32 con el sensor de proximidad, el módulo de relé y el buzzer, asegurando la compatibilidad de tensiones y la protección contra interferencias electromagnéticas. El diseño contempló el uso de PCB perforadas y bornas de conexión para un montaje seguro y modular, lo que facilita el mantenimiento y la replicación del sistema en otros equipos.

Asimismo, se desarrolló un modelo 3D del módulo de control utilizando software SolidWorks, con el fin de optimizar la disposición física de los componentes y prever su integración en la carcasa protectora. Este modelado permitió evaluar el espacio disponible, la ventilación, el acceso a conexiones y la resistencia mecánica del soporte, asegurando que la instalación final cumpla con estándares industriales de seguridad y ergonomía, como se muestra en la figura 2.

**Figura 2**

*Diseño electrónico y Modelado 3D en SolidWorks*



## Instalación y pruebas piloto

El sistema fue instalado en un blower de la línea de secado. Se llevaron a cabo pruebas de funcionamiento en condiciones reales, registrando la respuesta del sistema, la precisión de detección y la reducción de tiempo operativo.

## Evaluación de resultados

Se compararon los datos de consumo energético antes y después de la implementación, calculando el ahorro porcentual y proyectando el beneficio anual. También se documentaron mejoras colaterales como la disminución de ruido y temperatura en el área de trabajo.

## Instrumentos y materiales

- Hardware: ESP32 DevKit V1, sensores NPN, módulos de relé, buzzer, PCB, bornas de conexión, cableado industrial calibre #20 y #22.
- Software: Arduino IDE para programación, hoja de cálculo para análisis de datos.
- Métodos de medición: Registro de consumo eléctrico en kWh, observación directa, cronometraje de ciclos de secado.

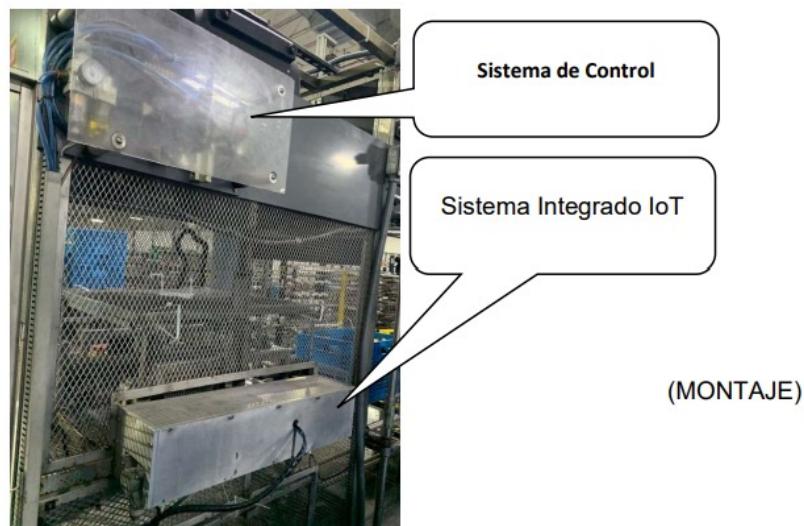
La metodología adoptada garantiza la replicabilidad del sistema y la obtención de resultados cuantificables, alineándose con principios de eficiencia energética y mejora continua en entornos industriales.

## Resultados

La implementación del sistema de control autónomo basado en ESP32 en uno de los blowers de la línea de secado permitió cuantificar de forma directa el impacto sobre el consumo energético y la operación del equipo, como se muestra en la figura 3.

**Figura 3**

*Sistema Integrado IoT ya Montado en el Sistema de Control*



### **Reducción del tiempo de operación**

Durante el periodo previo a la intervención, el blower OVEN 6 operaba de forma continua, registrando un tiempo efectivo de encendido del 100 % en los tres turnos. Tras la instalación del sistema, el tiempo de funcionamiento diario se redujo en un rango del 40 al 50 %, dependiendo de la carga de producción, gracias a la activación únicamente en presencia de canastillas, como se muestra en la figura 4.

**Figura 4**

*Sistema Integrado IoT ya Montado en el Sistema de Control*

### **Ahorro energético**

El análisis comparativo del consumo energético antes y después de la implementación del sistema IoT evidencia un impacto significativo en la eficiencia operativa. En la

etapa inicial, el consumo promedio diario de un blower era de 24.69 kWh, lo que equivalía a un gasto anual de 6,048.76 kWh. Tras la instalación del sistema de control autónomo, esta cifra se redujo a 13.6 kWh diarios, con un consumo anual estimado de 3,264 kWh, lo que representa una disminución aproximada del 46 % en el uso de energía eléctrica para un solo equipo como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1.**

*Resultados de Consumo de (kWh)*

Condición	Consumo diario (kWh)	Consumo Anual (kWh)	Ahorro estimado (%)
Antes de la Implementación	24.69	6048.76	-
Después de la Implementación	13.6	3,264.0	46%

La proyección de estos resultados a la totalidad de los seis blowers que integran la línea de secado indica un ahorro potencial de 16,704 kWh anuales. Este valor no solo refleja una optimización sustancial del consumo energético, sino que también implica beneficios indirectos como la reducción de la huella de carbono asociada y la prolongación de la vida útil de los equipos gracias a la menor exposición a ciclos de trabajo innecesarios. Desde una perspectiva de gestión industrial, tales resultados consolidan la viabilidad técnica y económica del sistema propuesto, alineándolo con estrategias globales de eficiencia energética y sostenibilidad en procesos de manufactura.

*Nota.* Se puede observar en la tabla los elementos obtenidos en la investigación con la implementación del Sistema IoT.

## **Impacto en el ambiente laboral**

Además de la reducción de consumo energético, se observaron mejoras cualitativas:

- Disminución del ruido ambiental en el área de trabajo.
- Reducción de acumulación de calor durante los turnos.
- Mayor confort térmico para el personal.

## **Fiabilidad y estabilidad del sistema**

Durante el periodo de pruebas, el sistema respondió de manera consistente a la detección de canastillas, sin falsos positivos ni interrupciones no programadas. La lógica de temporización aseguró un secado completo y la alarma acústica permitió alertar al personal ante flujos detenidos.

En conjunto, estos resultados validan la viabilidad técnica y económica de la solución, con beneficios inmediatos y un alto potencial de replicabilidad en otros procesos industriales con características similares.

## **Conclusiones y discusión**

La implementación del sistema IoT para el control autónomo de blowers en el proceso de secado demostró que es posible integrar tecnologías de bajo costo con resultados significativos en términos de ahorro energético y eficiencia operativa. Los datos comparativos evidencian una reducción cercana al 46 % en el consumo eléctrico, lo que concuerda con lo reportado en la literatura sobre sistemas de control adaptativo para maquinaria industrial.

Más allá del impacto cuantitativo, la solución aportó mejoras cualitativas en el entorno laboral, tales como la disminución del ruido ambiental y la reducción de calor acumulado, lo cual influye positivamente en la ergonomía y el bienestar

de los operadores. Estos hallazgos refuerzan la idea de que la automatización no solo debe medirse por indicadores técnicos, sino también por sus efectos en la experiencia del usuario y en la sostenibilidad del entorno de trabajo.

El sistema propuesto presentó un comportamiento estable durante las pruebas, sin fallos de detección ni interrupciones imprevistas, validando así la robustez de la programación y la compatibilidad de los componentes seleccionados. Además, el diseño modular y replicable del sistema facilita su adaptación a otros equipos o procesos industriales con necesidades similares.

La presente investigación demostró que la integración de tecnologías IoT en procesos industriales de secado puede generar beneficios significativos en términos de eficiencia energética, sostenibilidad y optimización operativa. El sistema implementado, basado en microcontroladores ESP32, sensores de proximidad y módulos de relé, logró reducir en un 46 % el consumo energético de un blower industrial, con potencial de escalabilidad a toda la línea de producción.

El impacto obtenido trasciende la dimensión técnica, aportando mejoras en el ambiente laboral mediante la disminución del ruido y la acumulación de calor, así como la prolongación de la vida útil de los equipos. Estos resultados confirman que la automatización inteligente puede ser una herramienta clave para alcanzar los objetivos de eficiencia y sostenibilidad en la industria automotriz, particularmente en regiones como el norte de Tamaulipas, donde la actividad manufacturera es un motor económico esencial.

Asimismo, la experiencia derivada de este proyecto pone de manifiesto la importancia de un enfoque integral que abarque diagnóstico inicial, diseño conceptual, implementación y evaluación de resultados, siempre acompañado de la validación en campo. La facilidad de replicación, el bajo costo de implementación y la compatibilidad con futuras plataformas de monitoreo y mantenimiento predictivo consolidan esta propuesta como una solución viable y estratégica para la modernización de procesos industriales similares.

En este sentido, se recomienda su adopción progresiva en otras áreas productivas y la exploración de mejoras mediante análisis de datos en tiempo real, lo que permitiría evolucionar hacia entornos de producción aún más eficientes, seguros y sostenibles.

## Referencias

- Chiluisa, C. R. (2022). Análisis del consumo de energía en una secadora de cacao rectangular con el uso de intercambiadores de calor. Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9667>
- Cruz, T. R. (2024). Diseño y manufactura de un soplador centrífugo para hornos de combustión aire–gas. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo]. Repositorio institucional de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/4969>
- García, J. P. (2021). A framework for model-based assessment of resilience in water resource recovery facilities against power outage. *Water Research*, 202, 117459. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117459>
- Hendra, H. P. (2021). Applying Programmable Logic Control (PLC) for Control Motors, Blower and Heater in the Rubber Drying Processing. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI)*, 1(7), 131-141. <https://doi.org/10.26555/jiteki.v7i1.20514>
- International Energy Agency. (2023). International Energy Agency. <https://www.iea.org/>
- Kushwaha, O. S. (2025). Compressors and Blowers: Maintenance, Practical Guidance. En Efficiency and industrial scale-up of blowers and compressors (pp. 13-71). Energy-Efficient Technologies.
- Mateo, C. M. (2025). Inteligencia Artificial para el soporte a la toma de decisiones en el ciclo de vida de los equipos industriales. *Dirección y Organización*(85), 67-84. <https://doi.org/10.37610/85.691>

Pena, G. F. (2023). Evaluación de desempeño térmico y energético de viviendas MEVIR. Análisis comparativo de la tipología “Cardal” en dos sistemas constructivos: Memoria técnica. Instituto de Ingeniería Mecánica y Producción Industrial - Facultad de Ingeniería. [https://www.researchgate.net/profile/Federico-Favre/publication/374118430\\_Evaluacion\\_de\\_desempeno\\_termico\\_y\\_energetico\\_de\\_viviendas\\_MEVIR\\_Analisis\\_comparativo\\_de\\_la\\_tipologia\\_Cardal\\_en\\_dos\\_sistemas\\_constructivos/links/650ec83861f18040c219141e/Evaluacion-d](https://www.researchgate.net/profile/Federico-Favre/publication/374118430_Evaluacion_de_desempeno_termico_y_energetico_de_viviendas_MEVIR_Analisis_comparativo_de_la_tipologia_Cardal_en_dos_sistemas_constructivos/links/650ec83861f18040c219141e/Evaluacion-d)

Suarez, R. C. (2024). Una revisión de las plataformas IoT utilizadas para realizar el monitoreo en tiempo real de sistemas fotovoltaicos: Plataformas IoT. NEXOS CIENTÍFICOS, 2(8), 29-41. <https://nexoscientificos.vidanueva.edu.ec/index.php/ojs/article/view/100>

Zhang, B. L. (2020). Design and implementation of model predictive control for an open-cathode fuel cell thermal management system. Renewable Energy, 154, 1014-1024. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.073>